

Aus dem Bereich „Kognitive Neurowissenschaften in der Psychiatrie“  
Medizinische Fakultät der Universität des Saarlandes, Homburg/ Saar  
(Leiter: Prof. Dr. med Oliver Gruber)

***Zum Einfluss negativ-erregender Affektzustände auf neuronale  
Mechanismen kognitiver Kontrolle: eine Untersuchung unter  
Anwendung funktioneller Hirnbildgebung***

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes

vorgelegt von  
Eva Christina Born  
geboren am 18. April 1981  
in Filderstadt

*Meinen Eltern  
Maria und Jochen*

*Meinen Großeltern  
Hannelore und Albert*

<i>Zum Einfluss negativ-erregender Affektzustände auf neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle: eine Untersuchung unter Anwendung funktioneller Hirnbildgebung</i>	<i>1</i>
<b>1 Zusammenfassung / Summary</b>	<b>7</b>
<b>2 Einleitung</b>	<b>13</b>
2.1 <i>Untersuchungsgegenstand</i>	13
2.1.1 Ökologischer Aspekt	13
2.1.2 Kognitive Kontrolle	13
2.1.2.1 Kognitiver Konflikt	15
2.1.2.1.1 Die Stroop-Aufgabe	15
2.1.2.2 Interferenz auf der Aufmerksamkeitsebene (Kompetition)	17
2.1.2.2.1 Das Oddball-Paradigma	17
2.1.3 Der Einfluss affektiver Zustände auf kognitive Prozesse	18
2.1.3.1 Hirnanatomische Zusammenhänge	18
2.1.3.2 Psychiatrische Krankheitsbilder	20
2.2 <i>Bildgebende Untersuchungen</i>	22
2.2.1 Neuronale Korrelate kognitiver Kontrolle	22
2.2.1.1 Implementierung eines task-sets	22
2.2.1.2 Neuronale Korrelate von Aufmerksamkeitsprozessen	24
2.2.1.3 Monitoring- und Kontrollprozesse	26
2.2.1.4 Ein neuronales Modell kognitiver Kontrollprozesse	28
2.2.2 Neuronale Korrelate der Verarbeitung emotionsrelevanter Stimuli	28
2.3 <i>Korrelate affektiv-kognitiver Interaktion</i>	31
2.3.1 Behaviorale Korrelate affektiv-kognitiver Interaktion	32
2.3.2 Neuronale Korrelate affektiv-kognitiver Interaktion	33
2.4 <i>Hypothesen der vorliegenden Arbeit</i>	35
2.4.1 Hypothesen zu Verhaltenseffekten	36
2.4.2 Neuroanatomische Hypothesen	36
<b>3 Methoden</b>	<b>38</b>
3.1 <i>Datenerhebung</i>	38
3.1.1 Versuchspersonen	38
3.1.2 Methode der funktionellen Hirnbildgebung	38
3.1.2.1 Physikalische Grundlagen der Magnetresonanztomographie	39
3.1.2.2 Die funktionelle Magnetresonanztomographie	40
3.1.2.3 fMRI-Messung in der vorliegenden Untersuchung	41
3.1.3 Experimentelle Bedingungen	41
3.1.3.1 Affektinduktion: Affektive Bedingungen	41
3.1.3.1.1 Stufen des Faktors Affekt: „Negative Arousal“ und „Neutral“	41
3.1.3.1.2 Kontrolle von Varianzquellen	44
3.1.3.2 Induktion kognitiver Interferenz: Kognitive Bedingungen	46
3.1.3.2.1 Stroop-Bedingungen	46
3.1.3.2.2 Oddball-Bedingung	47
3.1.3.2.3 Baseline-Bedingung	47
3.1.3.2.4 Technische Details der verwendeten Stimuli	48
3.1.3.2.5 Testung der interessierenden kognitiven Prozesse durch statistische Kontraste	48
3.1.3.3 Experimentelles Design	49
3.1.3.3.1 Trialaufbau	49

3.1.3.3.2 Anzahl und Aufteilung der Trials	50
3.1.3.3.3 Umsetzung in eine computer-gestützte Stimulation	51
3.2 Datenauswertung	52
3.2.1 Verhaltensdaten	52
3.2.1.1 Fehlerauswertung	52
3.2.1.2 Auswertung von Reaktionszeitunterschieden	53
3.2.2 Funktionell-hirnbildgebende Daten	53
3.2.2.1 Vorverarbeitung	53
3.2.2.2 Statistische Analysen	54
3.2.2.2.1 Erstellen der Kontraste	54
3.2.2.2.2 Random-effects Analysen	55
3.2.2.2.2.1 Auswahl der Probanden für die Random-effects Analysen	55
3.2.2.2.2.2 Berechnung der Random-effects	56
3.2.2.2.2.3 Auswertung der Random-effects	56
<b>4 Ergebnisse</b>	<b>58</b>
4.1 Verhaltensdaten	58
4.1.1 Fehlerauswertung	58
4.1.2 Auswertung von Reaktionszeitunterschieden	61
4.2 Funktionell-hirnbildgebende Daten	65
4.2.1 Hirnaktivierungen in Reaktion auf negativ-erregende IAPS-Bilder	65
4.2.2 Aktivierungen in der Inkongruenz-Bedingung	67
4.2.2.1 Aktivierungen in der Inkongruenz-Bedingung nach neutraler Affektinduktion	67
4.2.2.2 Aktivierungen in der Inkongruenz-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion	67
4.2.2.3 Interaktion: Unterschiede der Aktivierungsmuster inkongruenter Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion	69
4.2.2.3.1 Deskriptive Unterschiede	69
4.2.2.3.2 Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion	70
4.2.2.3.3 Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion	71
4.2.3 Aktivierungen in der Oddball-Bedingung	72
4.2.3.1 Aktivierungen in der Oddball-Bedingung nach neutraler Affektinduktion	72
4.2.3.2 Aktivierungen in der Oddball-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion	73
4.2.3.3 Interaktion: Unterschiede der Aktivierungsmuster von Oddball-Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion	74
4.2.3.3.1 Deskriptive Unterschiede	74
4.2.3.3.2 Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion	75
4.2.3.3.3 Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion	76
4.2.4 Aktivierungen in der Kongruenz-Bedingung	76
4.2.4.1 Aktivierungen in der Kongruenz-Bedingung nach neutraler Affektinduktion	76
4.2.4.2 Aktivierungen in der Kongruenz-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion	77
4.2.4.3 Interaktion: Unterschiede der Aktivierungsmuster kongruenter Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion	79
4.2.4.3.1 Deskriptive Unterschiede	79
4.2.4.3.2 Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion	81
4.2.4.3.3 Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion	83
4.2.5 Zusammenfassung: Interaktionseffekte	84

<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>85</b>
5.1	<i>Neuronale Korrelate der Affektinduktion durch negativ-erregende IAPS-Bilder</i>	85
5.1.1	Subkortikale Areale: Amygdala und Colliculi superiores	85
5.1.2	Okzipitale, temporo-okzipitale und parietale Kortexareale	86
5.1.3	Somatosensorischer und prämotorischer Kortex	86
5.1.4	Temporalpol und Sulcus temporalis superior	87
5.1.5	Orbitofrontaler Kortex und Frontalpol	87
5.1.6	Posteriorer cingulärer Kortex	88
5.1.7	Kleinhirn	88
5.1.8	Zusammenfassende Bewertung	89
5.2	<i>Kognitive Prozesse während der Stroop-Oddball-Aufgabe</i>	89
5.2.1	Inkongruenz-Effekt	89
5.2.1.1	Inkongruenz-Effekt auf Verhaltensebene	89
5.2.1.2	Neuronale Korrelate des Inkongruenz-Effekts	90
5.2.1.2.1	Gemeinsame neuronale Korrelate des Inkongruenz-Effekts nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion	90
5.2.1.2.2	Zusätzliche neuronale Korrelate des Inkongruenz-Effekts nach negativ-erregender Affektinduktion	90
5.2.1.2.3	Der Einfluss negativ-erregender Affektinduktion auf die Aktivität affektverarbeitender Hirnareale während der Darbietung von Stroop-Inkongruenz	92
5.2.1.3	Zusammenfassung: Inkongruenz-Effekte nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion	92
5.2.2	Oddball-Effekt	93
5.2.2.1	Oddball-Effekt auf Verhaltensebene	93
5.2.2.2	Neuronale Korrelate des Oddball-Effekts	94
5.2.2.2.1	Gemeinsame neuronale Korrelate des Oddball-Effekts nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion	94
5.2.2.2.2	Zusätzliche neuronale Korrelate des Oddball-Effekts nach negativ-erregender Affektinduktion	94
5.2.2.3	Zusammenfassung: Oddball-Effekte nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion	95
5.2.3	Kongruenz-Effekt	96
5.2.3.1	Kongruenz-Effekt auf Verhaltensebene	96
5.2.3.2	Neuronale Korrelate des Kongruenz-Effekts	97
5.2.3.2.1	Neuronale Korrelate des Kongruenz-Effekts nach neutraler Affektinduktion	97
5.2.3.2.2	Neuronale Korrelate des Kongruenz-Effekts nach negativ-erregender Affektinduktion	99
5.2.3.2.3	Der Einfluss negativ-erregender Affektinduktion auf die Aktivität affektverarbeitender Hirnareale während der Darbietung von Stroop-Kongruenz	100
5.2.3.3	Zusammenfassung: Kongruenz-Effekte nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion	100
5.3	<i>Allgemeine Diskussion zum Einfluss negativ-erregender Affektzustände auf neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle</i>	101
5.3.1	Zusammenfassende Bewertung der Befundlage	101
5.3.1.1	Verstärkung kognitiver Kontrollprozesse durch einen negativ-erregenden Affektzustand	102
5.3.1.2	Nachfolgende Suppression der Affektverarbeitung durch kognitive Kontrollprozesse: Anhaltspunkte für Reziprozität	103

5.3.2	Ein integratives Modell des Einflusses negativ-erregender Affektzustände auf neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle	103
5.3.3	Grenzen	104
5.4	Ausblick	105
5.4.1	Konnektivitätsanalysen	105
5.4.2	Implikationen für die Klinik	105
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>107</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>121</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>123</b>
8.1	Verwendete IAPS-Bilder	123
8.2	Instruktionsblatt	125
<b>9</b>	<b>Veröffentlichung der Studienergebnisse</b>	<b>126</b>
<b>10</b>	<b>Danksagung</b>	<b>127</b>
<b>11</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>128</b>

# 1 Zusammenfassung / Summary

## Zusammenfassung

### **Zum Einfluss negativ-erregender Affektzustände auf neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle: eine Untersuchung unter Anwendung funktioneller Hirnbildgebung**

#### **Einleitung**

Alltags- und klinische Erfahrungen zeigen, dass Affektzustände und kognitive Prozesse in engem Zusammenhang stehen und miteinander interagieren. In der vorliegenden Studie sollte der Einfluss einer negativ-valenten und hoch-erregenden emotionalen Information auf die neuronalen Mechanismen kognitiver Kontrolle unter Anwendung funktioneller Kernspintomographie (fMRI) untersucht werden. Insbesondere wurden zwei kognitive Interferenzsituationen untersucht: Zum einen kognitiver Konflikt in einer Stroop-Bedingung, und zum anderen Interferenz auf der Aufmerksamkeitsebene in einer Oddball-Bedingung. Kognitiver Konflikt geht dabei von einer irrelevanten Stimulus-Information aus, welche antwort-inkongruent und der relevanten Information entgegengesetzt ist. Kognitive Interferenz auf der Aufmerksamkeitsebene kann auch im Rahmen einer automatischen Orientierungsreaktion auf ein salientes und unerwartetes Ereignis entstehen, welches für eine aktuelle Aufgabe irrelevant ist. Die Lösung beider Interferenzsituationen erfordert die Überschreitung einer inadäquaten Antworttendenz bzw. die Wieder-Ausrichtung der Aufmerksamkeit zur Aufrechterhaltung zielgerichteten Handelns. Da die Verarbeitung emotionaler Stimuli ebenfalls Aufmerksamkeitsressourcen beansprucht, kann es zu Konkurrenz um Verarbeitungsressourcen kommen. Es wurde daher angenommen, dass die Induktion negativen Affekts zu Interferenz mit den genannten kognitiven Prozessen führt. Insbesondere wurden quantitative Veränderungen (Verstärkungen) der neuronalen Kontrollmechanismen durch den emotionalen Einfluss erwartet. Darüber hinaus wurde ein Muster reziproker Modulation und Abschwächung als Korrelat des nachfolgenden Einflusses kognitiver Kontrolle auf affektive Prozesse vermutet.

#### **Methoden**

14 gesunde Probanden bearbeiteten eine „Oddball-Variante“ der Stroop-Aufgabe, während mittels fMRI Gehirnaktivierungen gemessen wurden. Zu Beginn jedes Trials betrachteten die

Probanden Bilder des „International Affective Picture System“ (IAPS), welche entweder einen negativ-valenten und hoch-erregenden oder einen neutralen Inhalt hatten. Nach der Präsentation der Photographie bearbeiteten die Probanden eine kognitive Aufgabe, in der sie die Schriftfarbe eines Wortstimulus per Tastendruck klassifizieren sollten, wobei die Bedeutung des Wortes außer Acht gelassen werden sollte. Diese Stroop-Oddball-Aufgabe beinhaltete vier Bedingungen: In der Inkongruenz-Bedingung waren Schriftfarbe und Wortbedeutung entgegengesetzt, beispielsweise das Wort „BLAU“ in gelber Schriftfarbe. In der Kongruenz-Bedingung stimmten Schriftfarbe und semantische Bedeutung des Wortes überein, wie z. B. das Wort „BLAU“ in blauer Schriftfarbe. In der Oddball-Bedingung wurden unerwartete und seltene Wortstimuli gezeigt, deren Bedeutung keinen Farbbezug aufwies. Schließlich gab es eine Baseline-Bedingung, welche als Vergleichsbedingung fungierte und aus einem neutralen Wortstimulus bestand, welcher weder durch seine Bedeutung noch durch die Häufigkeit seiner Darbietung Konflikt induzierte. Die Verhaltensdaten wurden mit dem Softwarepaket SPSS analysiert. Für die Vorverarbeitung und statistischen Analysen der funktionellen Bilddaten wurde SPM2 verwendet. Signifikante Hirnaktivierungen wurden bestimmt durch Gruppenanalysen („Random effects“) der Kontrastbilder der Einzelprobanden bei einer unkorrigierten Schwelle von  $p < 0.005$  und einem Clusterlevel von mindestens 10 Voxel.

### **Ergebnisse / Diskussion**

Der Kontrast von negativ-valenten hoch-erregenden Bildern und neutralen Bildern zeigte Aktivierungen in zahlreichen Regionen, welche bereits in früheren Untersuchungen zu Affektverarbeitung angegeben wurden, insbesondere der Amygdala und extrastriärer visueller Areale. Erwartungsgemäß zeigten sich in allen Konflikt-Bedingungen verlängerte Reaktionszeiten, welche als Zeichen kognitiver Interferenzprozesse aufgefasst werden können. Die fMRI Ergebnisse zeigten nach der Präsentation neutraler IAPS-Bilder lediglich wenig Aktivität in denjenigen Hirnarealen, die gemeinhin während äquivalenten Interferenzsituationen gefunden werden. Die Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands hingegen führte zu gesteigerter Interferenz: Die Verhaltensdaten ergaben eine affektiv-kognitive Interaktion mit ausgeprägteren Effekten nach negativer Affektinduktion. In den fMRI-Bildern zeigten sich Aktivierungsmuster, welche deutlich stärker und weiter ausgedehnt waren. Die einzelnen Konfliktbedingungen zeigten insbesondere die folgenden Aktivierungen: In der Inkongruenz-Bedingung zeigte sich eine Zunahme der Aktivität medialer und lateraler präfrontaler Kortexregionen, an der insbesondere der posteriore inferior frontale Kortex („inferior frontal junction area“) beteiligt war. Außerdem zeigten sich



Aktivierungen im posterioren Okzipitalkortex sowie im intraparietalen Kortex. Bei kongruenten Trials fand sich ebenfalls eine verstärkte Aktivität im präfrontalen Kortex sowie in posterioren okzipitalen und Assoziationsarealen. In der Oddball-Bedingung wurde gesteigerte Aktivität im „inferior frontal junction“ Areal gefunden sowie in okzipitalen, temporo-okzipitalen und temporo-parietalen Kortextbereichen. Alle diese Areale werden als Bestandteile eines Netzwerks zur Steuerung der Aufmerksamkeit und zur Ausübung kognitiver Kontrolle diskutiert. Schließlich wurden während der Bearbeitung inkongruenter und kongruenter Trials auch Deaktivierungen gefunden in einigen der Regionen, welche zuvor an der Affektverarbeitung beteiligt waren. Diese Deaktivierungen waren nach der Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands signifikant größer.

### **Schlussfolgerung**

In einem neutralen Affektzustand wurde in der vorliegenden Studie ein Zustand kognitiver Kontrolle aufgebaut, bei dem durch die Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit auf die Anforderungen der Aufgabe und die Abschirmung gegen die konfliktträchtige Stimulusdimension kognitive Interferenz minimiert wird. Ein negativ-erregender Affektzustand beansprucht ebenfalls Aufmerksamkeitsressourcen und tritt somit in Konkurrenz zu Prozessen kognitiver Kontrolle. Dies wiederum kann nachfolgend verstärkte Kontrollanstrengungen erfordern, was sich in einer gesteigerten Rekrutierung von exekutiven Kontrollarealen äußert mit damit einhergehender Suppression der Aktivität affektverarbeitender Hirnareale. Um zielgerichtetes adäquates Verhalten auch in einer negativ-erregenden Affektsituation zu gewährleisten, können demnach kognitive Kontrollareale und affektverarbeitende Areale reziprok moduliert werden.

## Summary

### **On the influence of negatively arousing emotional states on neural mechanisms of cognitive control: a functional neuroimaging investigation**

#### **Introduction**

Everyday and clinical experience give evidence for emotional states and cognitive processes being closely related and interacting entities. The present fMRI study aimed at investigating the influence of a negatively valenced and high arousing emotional information on neural mechanisms of cognitive control. In particular, two situations of cognitive interference have been examined: first cognitive conflict in a Stroop condition, and second interference at the attentional level in an Oddball condition. Cognitive conflict at the response level emanates from irrelevant stimulus-information which is incongruent. Cognitive interference at the attentional level is the consequence of an automatic orienting-response toward a salient and unattended event that is irrelevant to a current task. The resolution of both kinds of interference requires overriding an inadequate response tendency and re-establishing the attentional set in order to maintain goal-directed action. The processing of emotion-laden stimuli is assumed to require also attentional resources and hence to bias competition for processing resources. Therefore, we hypothesized negative emotional stimuli to lead to interference with the above mentioned cognitive processes. Particularly, we focused on quantitative changes in the neural mechanisms of cognitive control due to emotional influence. Moreover we expected a pattern of reciprocal modulation and attenuation as a correlate of emotional-cognitive interaction.

#### **Methods**

The participants were 14 healthy volunteers who underwent fMRI while performing a variant of a Stroop-Oddball-Task. At the beginning of each trial, subjects viewed pictures from the International Affective Picture System (IAPS) that had either an unpleasant and highly arousing or a neutral content. After the presentation of the photograph, the participants performed the cognitive task, which required classifying the colour of a word-stimulus by button press while ignoring word meaning. The task consisted of four conditions: In the Incongruency-Condition the colour and the lexical word meaning indicated opposite responses, e.g. the word “BLAU” printed in yellow. In the Congruency-Condition, word colour and meaning were the same, e.g. the word “BLAU” printed in blue. In the Oddball-

Condition unexpected and rare word stimuli were presented whose meaning was not related to the colour information. The Baseline-Condition finally served as a comparison with a neutral word which was neither conflicting by its meaning nor by its frequency. Behavioural data were analysed with SPSS, pre-processing and statistical analyses of the functional images used SPM2. For group statistics, random effects analyses were performed on single subject contrast images and thresholded at  $p < 0.005$ , uncorrected. Correction was performed using a cluster threshold of at least 10 voxels.

## **Results / Discussion**

The comparison of negatively valenced highly arousing pictures with neutral pictures revealed signal increases in numerous brain regions previously found in emotional processing, particularly in the amygdala and in extrastriate visual areas. All conflict conditions were associated with prolonged reaction times indicating the presence of cognitive interference. FMRI results showed relatively few activation of those brain areas commonly found in similar interference situations. The induction of a negatively arousing emotional state led to increased interference: The behavioural data revealed an affective-cognitive interaction with an increase of the interference effects. FMRI images showed a pattern of brain activity related to cognitive interference, which was stronger and more extensive. In particular, the conflict conditions were associated with the following signal increases: Incongruency showed an involvement of medial and lateral prefrontal brain regions and particularly the inferior frontal junction area. Moreover, there were activations in the posterior occipital cortex and within the intraparietal cortex. In congruent trials, there was also a stronger activity in the prefrontal lobes and in posterior occipital and association areas. In the Oddball condition there were signal increases in the inferior frontal junction area and in posterior occipital, temporo-occipital and temporo-parietal cortex. All these areas are thought to be involved in cognitive control. Finally, during the performance of incongruent and congruent trials, there were also signal decreases in some of the regions previously involved in emotional processing, e. g the right amygdala. These signal decreases were significantly greater after the induction of a negatively arousing emotional state.

## **Conclusion**

In a neutral emotional state, cognitive control processes may be able to maintain the attentional task set despite the presence of a conflicting stimulus dimension, thereby minimizing the occurrence of cognitive interference. A negatively arousing emotional state, however, requires attentional resources and can interfere with those control processes. This

can consequently enhance the need for cognitive control and lead to a stronger engagement of regions exhibiting executive control. The increase of cognitive control processes seems to be accompanied by a suppression of the activity within the emotional processing network. In order to maintain goal-directed action even in a negatively arousing emotional state, brain areas exhibiting cognitive control and others associated with affective processing may be modulated in a reciprocal sense.

## **2 Einleitung**

### **2.1 Untersuchungsgegenstand**

#### **2.1.1 Ökologischer Aspekt**

Jeder Mensch wird ständig mit Ereignissen und Situationen konfrontiert, die unwillkürlich zum Erleben einer negativen Emotion führen. Sei es der Ärger über eine ungerechte Behandlung, Angst vor einer physischen oder psychischen Bedrohung, Traurigkeit über einen Verlust oder einfach ein unspezifisches negatives emotionales Empfinden, negative Emotionen werden tagtäglich in vielen Facetten erfahren. Eng damit verknüpft ist oft eine weitere Erfahrung, nämlich dass das Erleben dieser negativen Emotion zur Beeinträchtigung in zahlreichen anderen Tätigkeitsbereichen mit kognitiven Ansprüchen führt, wie logisches Denken, Schlussfolgern oder Problemlösung. Jemand, der sich in einem starken negativen emotionalen Zustand befindet, wird kaum in der Lage sein, auf das volle Ausmaß seiner kognitiven Fähigkeiten zurückzugreifen. In diesem Sinne lassen sich zahlreiche Beispiele des täglichen Erlebens für eine affektiv-kognitive Interferenz finden. Das Anliegen dieser Studie war die Identifikation derjenigen neuronalen Prozesse, die dieser Interaktion zugrunde liegen. Insbesondere sollten die neuronalen Korrelate ausgewählter kognitiver Kontrollprozesse betrachtet werden und deren Beeinflussung durch eine präinduzierte negative / erregende Emotion. Zur Erläuterung soll zunächst der Begriff der kognitiven Kontrolle erörtert werden.

#### **2.1.2 Kognitive Kontrolle**

Mit dem Begriff Kognition wird die Gesamtheit aller Funktionen und Prozesse bezeichnet, die mit dem Erwerb, der Speicherung und Wiederverwendung von Wissen zu tun haben. Entsprechend sind kognitive Prozesse Vorgänge, welche der Wahrnehmung, dem Denken, Einprägen und Wiedererkennen zugrunde liegen. Der Begriff Kognition kann auch unter Betonung der Erkenntnisfunktion den affektiven Aspekten des Erlebens gegenübergestellt werden (Fröhlich, 2000).

Mit dieser Definition wird deutlich, dass kognitive Prozesse sehr vielgestaltig sein können. In dieser Studie sollten insbesondere neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle untersucht werden. Mit dem Begriff kognitive Kontrolle werden Prozesse bezeichnet, die der Koordination von Gedanken und Handlungen dienen und im Dienste der Verwirklichung innerlich repräsentierter Ziele stehen (Brass et al., 2005a). Insbesondere erfordern Aufgaben,

welche neuartig sind oder unter erschwerten oder sich ändernden Umweltbedingungen stattfinden, ein hohes Ausmaß kognitiver Kontrolle (Botvinick et al., 2004; Brass et al., 2005). Zur Ausübung exekutiver Kontrolle werden daher verschiedene Verarbeitungsmodule, welche das (kognitive) System zur Bearbeitung und Lösung spezifischer Aufgaben befähigen, koordiniert und überwacht (Gruber & Goschke, 2004). Folgende kognitive Prozesse sind eng mit der Ausübung kognitiver Kontrolle verbunden:

Erstens liegt in der Aufmerksamkeitsselektion ein entscheidender Aspekt kognitiver Kontrolle: Informationen, welche für das aktuelle Ziel bzw. die aktuelle Aufgabe relevant sind, müssen identifiziert und selektiert werden, während andere im aktuellen Kontext irrelevante Informationen unterdrückt werden müssen (Banich et al., 2000a). Die Ausrichtung selektiver Aufmerksamkeit entspricht einer top-down gerichteten Beeinflussung von Modulen, die für die Verarbeitung der Aufgabe relevant sind (Gruber & Goschke, 2004). Der Begriff top-down betont dabei, dass die Richtung des Informationsflusses „von oben nach unten“ ist: Zentrale übergeordnete Kontrollareale beeinflussen die Aktivität in aufgabenspezifischen untergeordneten Verarbeitungsmodulen.

Zweitens setzt die Ausübung kognitiver Kontrolle den Aufbau eines sogenannten „task-sets“ voraus, durch welches die Anforderungen einer spezifischen Aufgabe mental repräsentiert werden. Mit diesem „task-set“ wird ein aufgabenspezifischer kognitiver Zustand hergestellt, welcher für eine adäquate Aufmerksamkeitsselektion und die Ausübung exekutiver Kontrolle entscheidend ist und welcher für die Dauer der Aufgabe aufrecht erhalten wird (Dosenbach et al., 2006; Gruber et al., 2006).

Drittens sind Überwachungsprozesse (Monitoring-Prozesse) wichtig, durch welche das System frühzeitig Zustände entdeckt, die nach einer Intensivierung der Kontrolle oder einer Reorientierung der Aufmerksamkeit verlangen (Botvinick et al., 2004). Diese Prozesse ermöglichen eine adäquate Verhaltensanpassung an wechselnde Erfordernisse der aktuellen Aufgabe oder an geänderte Umweltverhältnisse (Brass et al., 2005b). In diesem Sinne dient ein permanentes Konflikt-Monitoring der frühzeitigen Detektion kognitiver Interferenz und der Vermeidung damit verbundener Komplikationen hinsichtlich des aktuellen Ziels (Botvinick et al., 2004).

Somit stellen Situationen, in denen kognitive Interferenz auftritt, eine besondere Herausforderung dar und verlangen nach intensivierter kognitiver Kontrolle (s. oben) (Van Veen & Carter, 2005). Je nach Natur der Interferenz stehen dabei verschiedene Mechanismen kognitiver Kontrolle im Vordergrund. Folgende kognitive Interferenzsituationen sollten daher unterschieden werden: Zum einen können mehrere Informationsinhalte einander widersprechen und somit einen kognitiven Konflikt hervorrufen. Zum anderen kann es auf der Ebene der Aufmerksamkeitsselektion zu Konkurrenz um Aufmerksamkeitsressourcen zwischen verschiedenen Informationen kommen (Kompetition) (Melcher & Gruber, 2005). Beide Formen von Interferenz sowie die dazugehörigen kognitiven Kontrollmechanismen wurden in der vorliegenden Studie betrachtet:

### **2.1.2.1 Kognitiver Konflikt**

Meist beinhaltet eine kognitive Aufgabe mehrere Informationen: So wird ein komplexer Stimulus meistens in mehreren Modalitäten gleichzeitig wahrgenommen und auch die umgebende Umwelt ist in die Wahrnehmung eingebunden. Um für das aktuelle Ziel bzw. die aktuelle Aufgabe die richtige Entscheidung zu treffen, ist es wichtig, die in diesem Moment relevante Information aus der Gesamtheit aller Informationen zu erkennen, und von den übrigen, irrelevanten Informationen herauszufiltern (Hazeltine et al., 2000).

Ein kognitiver Konflikt tritt dann auf, wenn mehrere Informationsaspekte, die gleichzeitig gegeben sind, durch ihren Informationsgehalt interferieren und die Lösung der Aufgabe erschweren (Egner & Hirsch, 2005). Dieser Konflikt lässt sich durch die simultane Aktivierung mehrerer inkompatibler Antworttendenzen beschreiben (Braver et al., 2001). Um die Aufgabe dennoch adäquat lösen zu können bzw. dem aktuellen Ziel gerecht zu werden, muss die Aufmerksamkeit in gesteigertem Maße auf die relevanten Aspekte gerichtet werden (Weissmann et al., 2005).

Zur Induktion kognitiven Konflikts existieren eine Reihe verschiedener experimenteller Paradigmen, unter denen die Stroop-Aufgabe ein prominentes Beispiel darstellt.

#### **2.1.2.1.1 Die Stroop-Aufgabe**

1935 entwickelte Stroop im Zuge der Interferenzforschung ein Paradigma, in welchem er Probanden die Schriftfarbe von farbig gedruckten Wortstimuli beurteilen ließ. In einer

neutralen Bedingung wurden den Probanden Stimuli gezeigt, die aus einer Reihe von farbigen Quadraten bestand, deren Farbe so schnell wie möglich benannt werden sollte. In der Interferenzbedingung dienten als Stimuli Farbworte, deren semantische Bedeutung nicht mit der Druckfarbe des Wortes übereinstimmte, beispielsweise das Wort „Gelb“ in blauer Farbe, oder „Rot“ in grüner Farbe. Stroop fand heraus, dass die Reaktionszeiten für diese inkongruenten Stimuli im Vergleich zu der neutralen Bedingung signifikant erhöht waren, ein Effekt der als Stroop-Interferenz bezeichnet wird (Stroop, 1935). Dieser Effekt konnte später in zahlreichen Studien belegt werden (Banich et al., 2000a; MacLeod, 1991; Melcher & Gruber, 2005; Zysset et al., 2001).

Damit erfüllt die Stroop-Aufgabe die Merkmale des kognitiven Konflikts: Der inkongruente Stroop-Stimulus liefert gleichzeitig zwei Informationsdimensionen (nämlich Schriftfarbe und semantische Bedeutung), und beide Dimensionen widersprechen sich in ihrem Informationsgehalt. Dadurch kommt es zur Interferenz im Sinne einer gleichzeitigen Aktivierung zweier Antworttendenzen. Um die Stroop-Aufgabe adäquat lösen zu können, muss die relevante Antworttendenz selektiert und die andere verworfen werden muss (Milham & Banich, 2005). Eine Besonderheit der Stroop-Aufgabe liegt dabei in der Asymmetrie der beiden Informationsdimensionen: Es wird angenommen, dass die semantische Wortinformation durch einen unwillkürlichen Leseprozess automatisch aufgenommen wird, wohingegen für das Erkennen und die Benennung der Schriftfarbe mehr Aufmerksamkeit aufgebracht werden muss. Dieses spezielle Ungleichgewicht wird häufig als Erklärung für den Stroop-Effekt angeführt (MacLeod, 1991).

Zusätzlich zu dieser Interferenzbedingung wurde später noch eine weitere Bedingung eingeführt. In der sogenannten Kongruenz-Bedingung stimmen die semantische Bedeutung und die Schriftfarbe des Wortstimulus überein, beispielsweise das Wort „Gelb“ in gelber Farbe, oder „Rot“ in roter Farbe. In diesem Fall liefern beide Stimulusdimensionen den gleichen Informationsgehalt, woraus eine Fazilitation aufgrund einer gemeinsamen Antworttendenz resultiert. Stroop-Kongruenz geht mit der Beobachtung von Reaktionszeitverkürzungen einher (MacLeod, 1991; Milham & Banich, 2005).

Die beobachteten Reaktionszeitunterschiede in den beiden Bedingungen Inkongruenz und Kongruenz werden vielfach als Manifestation der zugrundeliegenden kognitiven Prozesse aufgefasst, wobei Reaktionszeit-Verlängerungen Interferenz und –Verkürzungen Fazilitation



widerspiegeln sollen (Banich et al., 2000a). In diesem Sinne kann man auch die unterschiedlichen Häufigkeiten fehlerhaft beurteilter Wortstimuli interpretieren: In zahlreichen Studien war in der Inkongruenz-Bedingung eine Fehlerzunahme und in der Kongruenz-Bedingung eine Fehlerabnahme im Vergleich zu einer neutralen Bedingung zu beobachten (Egner & Hirsch, 2005; Van Veen et al., 2005).

### **2.1.2.2 Interferenz auf der Aufmerksamkeitsebene (Kompetition)**

Kognitive Interferenz kann auch schon in einem früheren Stadium der Informationsverarbeitung auftreten, nämlich auf der Aufmerksamkeitsebene. Kognitive Überwachungsprozesse (Monitoring-Prozesse, s. [2.1.2](#)) dienen der flexiblen Anpassung an sich ändernde oder neue Kontextinformationen (Egner & Hirsch, 2005). In diesem Zusammenhang erscheint der Mechanismus einer Orientierungsreaktion als evolutionsbiologisch sinnvoll: Plötzliche Veränderungen in der Umgebung eines Individuums können eine unmittelbare Bedrohung oder Gefahr für dessen Fortbestehen darstellen. Daher ist es essenziell, seine Aufmerksamkeit auf einen unbekannten und salienten Reiz zu richten, um eine schnelle Identifikation und gegebenenfalls Verhaltensanpassung zu gewährleisten (Linden et al., 1999).

Wird in diesem Kontext die Lösung einer Aufgabe verlangt, so kommt es zu einem Konflikt um Aufmerksamkeitsressourcen zwischen dem unbekannten salienten Reiz und dieser Aufgabe. Zur Lösung dieser Interferenzsituation muss eine Reorientierung zur aufgabenrelevanten Information hin erfolgen bzw. ein Aufmerksamkeitsshift zurück zur relevanten Informationsdimension gewährleistet werden (Wager et al., 2005). Die mit dem seltenen Reiz verbundene präpotente Antworttendenz muss folglich überschrieben werden (Braver et al., 2001).

Zur experimentellen Realisierung von Kompetition um Aufmerksamkeitsressourcen werden klassischerweise Seltenheitsparadigmen herangezogen, von denen die Oddball-Aufgabe eine gebräuchliche Variante darstellt.

#### **2.1.2.2.1 Das Oddball-Paradigma**

Bei Seltenheitsparadigmen wird eine attentionale Orientierungsreaktion durch die intermittierende Darbietung von salienten, seltenen oder neuartigen Stimuli in einer Reihe von „Standard“-Stimuli induziert. Bei der klassischen Variante der Target-Detektion stellen diese

seltenen Stimuli Zielreize dar („Target-Stimuli“), welche vom Probanden identifiziert werden sollen und eine spezifische Antwort verlangen (Braver et al., 2001; Huettel & McCarthy, 2004; Linden et al., 1999). Bei der Oddball-Aufgabe hingegen wird die seltene, saliente Information in einer aufgabenirrelevanten Dimension dargeboten. Insofern kann eine Oddball-Komponente gut in ein anderes Paradigma wie beispielsweise die Stroop-Aufgabe integriert werden: In einer Reihe von häufigen Stroop-Stimuli werden dann intermittierend seltene Wortstimuli dargeboten, deren semantische Bedeutung jedoch für die Bearbeitung der Aufgabe irrelevant ist (Melcher & Gruber, 2006). Die durch das Seltenheitsereignis ausgelöste attentionale Orientierungsreaktion muss dabei zur Lösung der Aufgabe überschrieben werden (Melcher & Gruber, 2005).

Anhaltspunkte für eine kognitive Interferenzsituation durch das Seltenheitsereignis ergeben sich aus der Beobachtung verlängerter Reaktionszeiten (Amso et al., 2005; Braver et al., 2001; Davidson et al., 2004; Kirino et al., 2000; Melcher & Gruber, 2006). Andere charakteristische Befunde zeigen sich in spezifisch veränderten evozierten Potenzialen (Sutton et al., 1965; Bledowsky et al., 2004 a, b).

### **2.1.3 Der Einfluss affektiver Zustände auf kognitive Prozesse**

Wie eingangs bereits erwähnt, lässt sich die Tatsache der emotionalen Beeinflussbarkeit kognitiver Funktionen aus zahlreichen Facetten von alltäglichen Erfahrungen rechtfertigen. Darüber hinaus liegen Beobachtungen aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Bereichen zu einer affektiv-kognitiven Interaktion vor, von denen hier zwei herausgegriffen werden sollen.

#### **2.1.3.1 Hirnanatomische Zusammenhänge**

Die Phylogenese des menschlichen Gehirns macht deutlich, dass man zwischen sehr alten Hirnabschnitten und später in der Entwicklungsgeschichte entstandenen Bereichen unterscheiden kann. Phylogenetisch sehr alte Teile stellen der Paleokortex sowie der Archikortex dar, während der Neokortex den phylogenetisch jüngsten Hirnabschnitt bildet (Trepel, 2004).

Diesen Abschnitten lassen sich die Areale des adulten Gehirns folgendermaßen zuordnen: aus Paleokortex und Archikortex entwickelten sich im einzelnen die Strukturen des Riechhirns sowie des limbischen Systems, wie Hippocampus, Amygdala, Gyrus cinguli und Gyrus

parahippocampalis (Schiebler & Schmidt, 2003). Ganz allgemein gefasst handelt es sich hierbei um Strukturen, die mit Trieben und Instinkten sowie Gefühlen und Empfindungen in Zusammenhang stehen (Damasio, 1994). Funktionell gesehen dienen diese Eigenschaften dem Überleben und Fortbestehen eines Individuums und sorgen für eine schemaartige vorteilhafte Lenkung des Verhaltens in spezifischen Situationen (Ekman, 1992; Levenson, 1999). In diesem Sinne ermöglichten diese Strukturen einem Lebewesen bereits auf einer frühen Entwicklungsstufe der Evolution „gescheit zu handeln, ohne gescheit denken zu müssen“ (Damasio, 1994).

Erst im Verlauf der Entwicklungsgeschichte differenzierte sich schließlich der Neokortex oder das Endhirn, welchem die beiden Großhirnhemisphären mit Okzipital-, Parietal-, Frontal- und Temporallappen zugehörig sind. Diesen Hirnarealen werden zahlreiche kognitive Funktionen zugeschrieben, wie die weitergehende Verarbeitung sensorischer Informationen, die Ausführung differenzierter motorischer Handlungen sowie die für komplexe Operationen notwendige Konzertierung entsprechender Denkinhalte (Schiebler & Schmidt, 2003). Insofern sind hiermit Mechanismen entstanden, welche ebenfalls im Dienste einer adäquaten Verhaltenssteuerung stehen. Durch die kognitive Komponente wurde das Repertoire möglicher Verhaltensweisen jedoch entscheidend erweitert: Das Individuum erhält die Möglichkeit, persönliches Wissen und Erfahrungen mit in den Entscheidungsprozess einfließen zu lassen. Dadurch kann das individuelle Verhalten besser den Erfordernissen einer spezifischen Situation angepasst werden, oder anders ausgedrückt „es eröffnet uns die Möglichkeit, gescheit zu denken, bevor wir gescheit handeln“ (Damasio, 1994).

Nun handelt es sich aber bei der Beziehung zwischen Emotion und Kognition nicht um eine simple Dichotomie, sondern um eine komplizierte Interaktion beider Entitäten. Dies geht aus der differenzierteren Betrachtung der Funktionen oben beschriebener Gehirnsysteme hervor. Insbesondere wird an Arealen, welche funktionell im Dienste beider Systeme stehen deutlich, dass die strikte Unterteilung des Gehirns in einen phylogenetisch alten, emotionalen Abschnitt und einen jüngeren kognitiven Abschnitt zu einfach ist. Ein prominentes Beispiel für ein solches Areal stellt der Gyrus cinguli dar, und besonders dessen vorderer Anteil, der anteriore cinguläre Kortex (ACC). Der Gyrus cinguli wird anatomisch dem limbischen System zugerechnet (s. oben), und steht in diesem Sinne im Dienste der Emotionsregulation. Darüberhinaus greift der cinguläre Kortex aber auch in das kognitive Geschehen ein (Damasio, 1994). Mit bildgebenden Verfahren wurde beispielweise herausgefunden, dass der

ACC neben der Verarbeitung von salienten emotionalen und motivationalen Informationen auch eine Rolle bei der Modulation von Aufmerksamkeit, Handlungsstrategien, komplexen motorischen Prozessen und im Rahmen des Arbeitsgedächtnis spielt (Bush et al., 2000; Carter et al., 1999).

Diese Befunde werden zusätzlich durch Beobachtungen an Patienten mit umschriebenen Läsionen dieses Areals bestätigt. Der Fall des Phineas Gage wurde als besonders prominentes Beispiel bekannt. Phineas Gages medialer präfrontaler Kortex wurde im Bereich des ACC durch einen Unfall zerstört. Nach dieser Läsion zeigte Phineas Gage sowohl Defizite im sozialen und emotionalen Bereich als auch bei zahlreichen geistigen Operationen (Damasio, 1994). Diese Befunde legen somit die Vermutung nahe, dass emotionale und kognitive Prozesse eng miteinander verknüpft sind.

Außerdem existiert eine Reihe weiterer Hirnareale, welche ebenfalls an sowohl emotionalen als auch kognitiven Prozessen beteiligt sind, wie beispielsweise der orbitofrontale Kortex (Northoff et al., 2000; Ullsperger & von Cramon, 2004), die Insel (Ackermann & Riecker, 2004; Cunningham et al., 2004) oder der somatosensorische Kortex (Damasio et al., 2000; Adolphs et al., 2000). Die beschriebene Datenlage liefert ausreichend starke Anhaltspunkte dafür, dass es sich bei Kognition und Emotion nicht um separate neuronale Systeme handelt. Entsprechend scheint die Annahme gerechtfertigt, dass man bei der Betrachtung kognitiver Kontrollprozesse auch den emotionalen Zustand eines Individuums berücksichtigen sollte.

### **2.1.3.2 Psychiatrische Krankheitsbilder**

Ein weiterer Grund, die affektive Komponente in die Untersuchung neuronaler Prozesse kognitiver Kontrolle einzubeziehen ergibt sich aus Beobachtungen an psychiatrischen Patienten, die oftmals Defizite sowohl im affektiven als auch im kognitiven Bereich zeigen.

Dies ist zum einen der Fall beim Krankheitsbild der Schizophrenie: Schizophrene Patienten zeigen einerseits oftmals Störungen der Affektivität und Persönlichkeitsveränderungen wie Motivationsverlust, Apathie, soziale Enthemmung oder Rückzug, andererseits aber auch Einbußen bei höheren kortikalen Funktionen wie beispielsweise defizitäre Arbeitsgedächtnisleistungen (Bogerts, 2005). Für die beschriebene Symptomatik mögen sowohl strukturelle als auch funktionelle Veränderungen des Gehirns verantwortlich sein:

Durch Volumenvermessung von Hirnstrukturen bei Schizophrenen konnte gezeigt werden, dass neben einer Erweiterung der Ventrikel auch eine Volumenverminderung einiger Areale auftritt. Davon ist zum einen das limbische System mit dem Amygdala-Hippokampus-Komplex und dem Gyrus cinguli betroffen (Weiss et al., 2004, Heckers et al., 2004). Zum anderen zeigten sich Veränderungen des Neokortex im Bereich der Frontal- und posterioren Temporallappen (Calhoun et al., 2006). Funktionell bildgebende Verfahren konnten weiterhin aufzeigen, dass die Hirnaktivitäten schizophrener Patienten im Vergleich zu denen gesunder bei kognitiven und affektiven Aufgaben verändert sind. Beispielsweise konnten veränderte Aktivierungen im Rahmen von Oddball-Paradigmen (Kiehl et al., 2005; Laurens et al., 2005), Gedächtnisaufgaben (Weiss et al., 2004) oder bei einer emotionalen Stroop-Aufgabe (Mohanty et al., 2005) aufgezeigt werden.

Eine zweite Gruppe von psychiatrischen Erkrankungen mit kognitiven und affektiven Implikationen betrifft das Gebiet der affektiven Störungen. Bei manischen, depressiven und bipolaren Patienten sind jeweils Beeinträchtigungen im Affekt und Belohnungserleben sowie defizitäre kognitive Funktionen zu verzeichnen. Strukturelle Veränderungen zeigen sich in einer Vielzahl von Regionen. Unter anderem sind Volumenveränderungen des präfrontalen Kortex, der Basalganglien und des Amygdala-Hippokampus-Komplex gezeigt worden. Funktionell-bildgebende Befunde zeigten weiterhin Auffälligkeiten in der Aktivität einer Reihe von Arealen bei kognitiven und bei emotionalen Aufgabenstellungen (Schneider et al., 2005). Gruber et al. (2004) zeigten veränderte Aktivitäten des anterioren cingulären Kortex und des dorsolateralen präfrontalen Kortex während einer Stroop-Aufgabe bei bipolaren Patienten. Rose et al. (2006) zeigten auffällige Aktivierungsmuster des ACC bei einer Arbeitsgedächtnisaufgabe an depressiven Patienten.

Eine dritte Gruppe psychiatrischer Erkrankungen mit Implikationen für eine affektive Beeinflussung kognitiver Prozesse stellen Krankheiten aus dem Kreis der Angst- und Panikstörungen dar. Neben der affektiven Komponente ist oftmals auch eine Beeinträchtigung kognitiver Funktionen bei diesen Patienten zu verzeichnen. Lim & Kim (2005) konnten bei Patienten mit einer Panikstörung gesteigerte Interferenz bei der Bearbeitung von Stroop- und Gedächtnisaufgaben im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe nachweisen. Eine Untersuchung von Ludewig et al. (2005) ergab erhöhte Werte auf einer Skala kognitiver Dysfunktion bei Patienten mit einer Panikstörung. Entsprechend wurden bei vielen Formen von Angst- und Panikstörungen funktionelle Auffälligkeiten in emotions- sowie

kognitionsassoziierten Hirnarealen nachgewiesen, unter anderem in Strukturen des limbischen Systems und Gebieten des präfrontalen Kortex (Wiedemann, 2005).

Die skizzierten Befunde machen deutlich, dass es auch in medizinischem Interesse ist herauszufinden, auf welche Weise sich affektive Zustände auf kognitive Kontrollprozesse auswirken können.

Aus den erläuterten Aspekten aus den Bereichen des Alltags, der Phylogenese, Neuroanatomie, Neurologie und Psychiatrie ergibt sich eine starke Begründung für eine integrative Untersuchung von Kognition und Affekt. Es wurde deutlich, dass kognitive Prozesse und Konfliktformen nicht ausschließlich isoliert betrachtet werden können, sondern auch innerhalb des Kontexts, in welchem sich diese Prozesse abspielen. Da insbesondere die emotionale Komponente in engem Zusammenhang mit kognitiven Vorgängen zu sehen ist, wurde in der vorliegenden Studie der moderierende Einfluss von negativ-erregenden Affektzuständen auf neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle untersucht.

## **2.2 Bildgebende Untersuchungen**

### **2.2.1 Neuronale Korrelate kognitiver Kontrolle**

In den letzten Jahren wurden zahlreiche bildgebende Studien durchgeführt, in welchen mit unterschiedlichen Paradigmen neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle untersucht wurden. Im folgenden sollen die wichtigsten neuronalen Korrelate dieser Prozesse vorgestellt werden.

#### **2.2.1.1 Implementierung eines task-sets**

Die Verfolgung eines bestimmten Ziels bzw. die Bearbeitung einer Aufgabe erfordern den Aufbau und die Aufrechterhaltung eines kognitiven Zustands, in welchem die spezifischen Aufgabenanforderung repräsentiert sind: Dies geschieht durch die Implementierung eines aufgabenspezifischen task-sets (vgl. [2.1.2](#)) (Dosenbach et al., 2006). Von manchen Autoren wird diese innere Fokussierung auf die Erfordernisse einer aktuellen Aufgabe auch als „attentional-set“ bezeichnet (Compton & Banich, 2003). Die Implementierung dieses task- oder attentional-sets wird auf neuronaler Ebene mit Aktivierungen im Bereich des lateralen präfrontalen Kortex in Zusammenhang gebracht (Wager et al., 2005). In diesem Kontext

werden zwei Areale diskutiert, welche beide anatomisch den lateralen Oberflächen der Frontallappen zuzuordnen sind.

Das eine Areal wird als dorsolateraler präfrontaler Kortex (DLPFC) bezeichnet und liegt im mittleren und dorsalen Anteil der Gyri frontalis medius und inferior (Gruber et al. 2005). Aktivierungen des DLPFC wurden in zahlreichen Studien dann beobachtet, wenn die Aufgabenbedingungen erschwert waren oder ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeit für die Verfolgung der Aufgabe aufgebracht werden musste. Banich et al. (2000b) fanden beispielsweise eine stärkere Beteiligung des DLPFC in der Inkongruenz-Bedingung einer Stroop-Aufgabe insbesondere in einer erschwerten Aufmerksamkeitsbedingung. Sie schlussfolgerten, dass dieses Areal am ehesten dann aktiviert ist, wenn die Implementierung bzw. Aufrechterhaltung eines attentional-sets erschwert ist. Compton & Banich (2003) folgerten aus ähnlichen Beobachtungen, dass der DLPFC eine entscheidende Rolle spielt bei der Aufrechterhaltung eines attentional-sets in der Anwesenheit salienter Distraktoren. Man nimmt daher an, dass der DLPFC der Repräsentation und Aufrechterhaltung zielgerichteter Aufmerksamkeit auf Merkmale der Aufgabe im Sinne einer top-down Regulation dient (MacDonald et al., 2000; Milham et al., 2003).

Das andere präfrontale Kortexareal ist das Inferior Frontal Junction (IFJ) Areal. Das IFJ Areal ist an der Schnittstelle des Sulcus frontalis inferior und dem inferioren Anteil des Gyrus präcentralis lokalisiert (Derrfuss et al., 2005). Eine Rechtfertigung, diesen Kortexbereich als umschriebenes Areal zu definieren, ergibt sich unter anderem aus der Feststellung eigener zyto- und rezeptorarchitektonischer Eigenschaften, welche das IFJ Areal von den umgebenden Kortexbereichen unterscheiden (Amunts et al., 2004). Aus funktioneller Sicht liegt das IFJ Areal in einer Übergangszone zwischen prämotorischem und präfrontalem Kortex und vereint insofern die Verarbeitung motorischer, sprachbezogener und arbeitsgedächtnis-assoziierter Aufgabenaspekte (Brass et al., 2005a). Aktivierungen des IFJ Areals wurden unter anderem bei Stroop-Paradigmen und Aufgabenwechselparadigmen beobachtet (Derrfuss et al., 2004; Brass et al., 2005). Darüberhinaus wird das IFJ Areal mit Prozessen der Vorbereitung auf eine Aufgabe in Verbindung gebracht (Brass & von Cramon, 2002). Brass & von Cramon (2004) schlussfolgerten, dass die Aktivierungen des IFJ Areals auf eine Rekonfiguration des task-sets zurückzuführen sind. Insofern spielt das IFJ Areal eine Schlüsselrolle im Rahmen kognitiver Kontrollprozesse und beeinflusst die Aktivität nachgeschalteter Areale im parietalen Kortex (Brass et al., 2005a, b).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass DLPFC und IFJ Areal sowohl anatomisch als auch funktionell eng beieinander liegen. Im Vergleich zum DLPFC ist das IFJ Areal etwas weiter posterior und inferior lokalisiert. Funktionell gesehen scheint das IFJ-Areal insbesondere dann involviert zu sein, wenn das task-set einer Aufgabe neu oder wieder aufgebaut wird, wohingegen der DLPFC mit einer forcierten Fokussierung auf die Aufgabenanforderungen im Zusammenhang stehen mag. Letztlich stellen aber beide Prozesse lediglich unterschiedliche Schwerpunkte der Implementierung eines task-sets dar.

### **2.2.1.2 Neuronale Korrelate von Aufmerksamkeitsprozessen**

Zur Darstellung von Aufmerksamkeitsprozessen ist es zunächst wichtig zwischen top-down und bottom-up Prozessen zu unterscheiden: Bei top-down Prozessen werden die Repräsentation von Wissensinhalten und die Wahrnehmung durch höhere geistige Funktionen beeinflusst (Zimbardo & Gerring, 1999). Top-down Prozesse stehen somit immer unter kognitiver Kontrolle (Goldstein, 2001). Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit erfolgt daher selektiv und zielgerichtet auf Inhalte, die für die Bewältigung einer Aufgabe benötigt werden. Bei bottom-up Prozessen hingegen wird die Wahrnehmung aus den sensorischen Informationen abgeleitet (Zimbardo & Gerring, 1999). Hierbei stehen die Merkmale des dargebotenen Stimulus im Vordergrund, welche ohne kognitive Einflüsse analysiert und verarbeitet werden (Goldstein, 2001). Ein Beispiel für einen solchen Prozess mag die Aufmerksamkeitsausrichtung auf einen salienten oder neuartigen Reiz darstellen.

Entsprechend diesen beiden Richtungen der Informationsverarbeitung konnten zwei neuronale Aufmerksamkeitspfade identifiziert werden. In einem Experiment von Corbetta et al. (2000) sollten Probanden entweder ihre Aufmerksamkeit im Vorhinein auf einen zu beurteilenden Stimulus (top-down) oder plötzlich auf einen unerwarteten Reiz richten (bottom-up). In ersterem Fall traten insbesondere Aktivierungen im Bereich des intraparieten Sulcus (IPS) beider Hemisphären auf. Unerwartete Stimuli hingegen waren mit Aktivierungen im rechten temporoparietal junction (TPJ) Areal assoziiert, welches definiert ist als der Übergangsbereich zwischen Gyrus temporalis superior und Lobulus parietalis inferior (Corbetta et al., 2000). Weitere Untersuchungen führten schließlich zur Identifikation zweier Aufmerksamkeitsnetzwerke: Erstens ein ventrales frontoparietales Netzwerk für bottom-up gerichtete Stimulus-orientierte Aufmerksamkeit, welches in der rechten Hemisphäre lateralisiert ist und das TPJ Areal sowie ventrale präfrontale Kortextbereiche beinhaltet.



Zweitens ein dorsales frontoparietales Netzwerk für zielgerichtete, top-down Aufmerksamkeit, dem der intraparietale Sulcus sowie das frontale Augenfeld beider Hemisphären zugerechnet wird (Corbetta & Schulman, 2002; Bledowsky et al., 2004a; Behrmann et al., 2004; Fox et al., 2006). Dem IPS kommt insofern eine besondere Rolle bei der willkürlichen Aufmerksamkeitssteuerung zu (Vandenberghe et al., 2005).

Die Aktivierungsausbreitung in den beiden Aufmerksamkeitsnetzwerken geht wahrscheinlich folgendermaßen von statten: Bei top-down gerichteten Prozessen sind zuerst Bereiche des lateralen präfrontalen Kortex aktiv, welche mit der Repräsentation des task-sets assoziiert sind (vgl. [2.2.1.1](#)). Diese triggern Aktivierungen des parietalen Kortex und insbesondere des IPS, wo das task-set weiter konkretisiert wird (Brass et al., 2005). Diese parietalen Areale wiederum beeinflussen die Aktivität in visuellen Verarbeitungsarealen und stellen damit die Voraussetzung her für einen effektiven visuellen Filterprozess (Friedman- Hill et al., 2003).

Bei den visuellen Verarbeitungsarealen ist zwischen einem ventralen Pfad im Bereich des temporo-okzipitalen Kortex und einem dorsalen Pfad entlang des parieto-okzipitalen Kortex zu unterscheiden: Der ventrale visuelle Pfad leistet Aspekte der Objektverarbeitung, während der dorsale visuelle Pfad eine wichtige Rolle für die räumliche Verarbeitung visueller Informationen spielt (Ungerleider & Haxby, 1994; Ungerleider et al., 1998). Insofern ist ein top-down Prozess, bei welchem die Aufmerksamkeit selektiv auf bestimmte Stimulusaspekte gerichtet wird, mit der Aktivierung spezifischer visueller Verarbeitungsareale verbunden (Corbetta et al., 2000; Lane et al., 1999).

Umgekehrt werden bei bottom-up gerichteten Aufmerksamkeitsprozessen zunächst visuelle Informationen aufgenommen und durch immer komplexere Verarbeitungsareale entlang des ventralen frontoparietalen Netzwerks weitergehend verarbeitet (Corbetta & Schulman, 2002; Fox et al., 2006). Diese bottom-up gerichtete Verarbeitung salienter Stimuli geht dabei mit zahlreichen Aktivierungen in weitverteilten Arealen einher, welche für die Verarbeitung potenziell nützlich sein könnten (Kiehl et al., 2001). Dieser Prozess stellt für den Organismus eine adaptive Verarbeitungsstrategie dar, da es entscheidend ist, einen salienten Stimulus ins Bewusstsein zu bringen und, falls nötig, eine schnelle Verhaltensanpassung zu gewährleisten (Menon et al., 1997; Kiehl et al., 2005; Linden et al., 1999). In diesem Sinne können unerwartete saliente Stimuli auch die Aktivität kognitiver Kontrollareale des präfrontalen Kortex beeinflussen (Gruber & Goschke, 2004).

### 2.2.1.3 Monitoring- und Kontrollprozesse

Monitoringprozesse dienen der permanenten Überwachung des Systems auf relevante Veränderungen und spiegeln sich neuronal in der tonischen Aktivierung einiger Gehirnareale im Bereich der medialen Kortexoberfläche wider (Raichle et al., 2001). Für die Abgrenzung einzelner Areale innerhalb des medialen Kortex existieren unterschiedliche Einteilungsmöglichkeiten mit jeweils unterschiedlicher Nomenklatur. Der Gyrus cinguli lässt sich nach Bush et al. (2000) einteilen in einen posterioren Anteil (PCC) mit evaluativen Funktionen und einen anterioren Anteil (ACC). Der ACC wird wiederum untergliedert in einen ventralen Anteil, der sich im Bezug auf das Corpus Callosum sub- und perigenual befindet, sowie in einen dorsalen Anteil. Der ventrale ACC wird dabei mit affektiven Verarbeitungsaspekten in Verbindung gebracht, während die Funktion des dorsalen ACC mit kognitiven Prozessen im Zusammenhang steht. Eine andere Einteilungsmöglichkeit nach Picard & Strick (1996) berücksichtigt den gesamten Kortex zwischen dem Genu des Corpus Callosum und einer gedachten koronalen Ebene durch die hintere Kommissur. Dieser Kortexbereich wird in vier Areale gegliedert: Erstens die beiden motorischen Areale SMA (supplementär motorisches Areal) und prä-SMA, welche sich superior des Gyrus cinguli befinden. Zweitens die rostrale und die caudale cinguläre Zone (rCZ und cCZ) des anterioren cingulären Kortex, welche mit kognitiven Funktionen assoziiert sind. Aufgrund der besonderen Relevanz für kognitive Kontrollprozesse soll im folgenden näher auf die Areale der medialen Kortexoberfläche eingegangen werden, welche sich zwischen dem Genu des Corpus callosum und der posterioren Kommissur befinden.

Aktivierungen des dorsalen ACC wurden im Zusammenhang mit vielen kognitiven Paradigmen beobachtet und mit zahlreichen kognitiven Funktionen wie Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeitsmodulation, Antwortselektion oder Fehlerdetektion in Zusammenhang gebracht (Bush et al., 2000). Da es sich hierbei um eine Vielzahl von Funktionen handelt, die auf den ersten Blick sehr unterschiedlich sind, wurden Theorien zu einer übergeordneten Funktion des ACC entwickelt. In einem Experiment von Botvinick et al. (1999) wurden zwei dieser Theorien gegeneinander getestet: Nach der ersten Theorie sollte der ACC als übergeordnete Exekutive an der Spitze einer top-down gerichteten Verarbeitung stehen. Der zweiten Theorie zufolge stellte er eine Beobachtungsinstanz für die Detektion von Konflikten im Rahmen der Informationsverarbeitung dar. Zur Klärung des Sachverhalts wurden das Ausmaß von kognitivem Konflikt und von kognitiver Kontrolle experimentell gegenläufig manipuliert. Es stellte sich heraus, dass der ACC in Bedingungen mit einem hohen

Konfliktpotenzial aktiviert war. Hingegen spielte der ACC keine Rolle in Bedingungen, welche ein hohes Maß an Kontrolle implizierten.

Dieses Ergebnis führte zusammen mit zahlreichen anderen Befunden schließlich zu der Annahme, dass der ACC eine Schlüsselrolle in Bedingungen spielt, unter denen das optimale Funktionieren des Systems gefährdet ist, so dass strategische Anpassungen an diese Bedingungen notwendig werden (Carter et al., 1998; Carter et al., 1999; Botvinick et al., 2004; Ridderinkhof et al., 2004a). Diese Schlussfolgerung erklärt auch die Bedeutung des ACC im Rahmen der Fehlerverarbeitung (Kiehl et al., 2000). Ebenso stellen Paradigmen in welchen kognitiver Konflikt induziert wird, wie beispielsweise die Stroop-Aufgabe, eine besondere Herausforderung an das kognitive System und führen zu einer Beteiligung des ACC (Carter et al., 2000). Aber auch bei der Verarbeitung unerwarteter und salienter Reize kann der ACC aktiviert sein, wie beispielsweise im Rahmen von Oddball-Paradigmen (Braver et al., 2001; Davidson et al., 2004, Melcher & Gruber, 2005).

Die strategische Anpassung in diesen Konfliktsituationen geschieht durch die verstärkte Rekrutierung und Koordination derjenigen Verarbeitungsareale, welche für die korrekte Ausführung der geplanten Aufgabe entscheidend sind (Pardo et al., 1990; Peterson et al., 1999). Insbesondere beeinflusst der ACC die Aktivität lateraler präfrontaler Kortexareale, welche für die Implementierung des task-sets verantwortlich sind (Ridderinkhof et al., 2004b; Zysset et al., 2001). Insofern bestimmt der mediale präfrontale Kortex, welche Aufgaben im lateralen präfrontalen Kortex repräsentiert werden (Wager et al., 2005).

Darüber hinaus stehen Aktivierungen des ACC auch im Zusammenhang mit der Vorbereitung motorischer Prozesse (Zysset et al., 2001). Dies spielt insbesondere im Rahmen kognitiven Konflikts auf der Antwortebene eine Rolle (Ullsperger & Cramon, 2001; Melcher & Gruber, 2006). Motorische Kontrolle impliziert außerdem verstärkte Aktivierungen motorischer Kortexareale wie prä-SMA und SMA (Brass & von Cramon, 2002; Melcher & Gruber, 2005). Die prä-SMA ist superior des ACC und rostral der anterioren Kommissur gelegen und zeigt eine starke Konnektivität zum präfrontalen Kortex, während die SMA kaudal an die prä-SMA angrenzt und stärker mit motorischen Kortexarealen verbunden ist (Johansen-Berg et al., 2004). Entsprechend steht die SMA im Dienste einfacherer motorischer Vorgänge wie beispielsweise Verhaltensplanung und –Ausführung (Alario et al., 2006; Picard & Strick, 1996). Aktivierungen der prä-SMA hingegen stehen im Zusammenhang mit übergeordneten

motorischen Kontrollprozessen wie der Implementierung des task-sets auf motorischer Ebene (Brass & von Cramon, 2002). Aktivierungen des posterioren frontomedianen Kortex in Zusammenhang mit kognitivem Konflikt werden daher als verstärkte Anstrengung zur Verhinderung von Fehlern interpretiert (Melcher & Gruber, 2006).

Die angeführten Funktionen des frontomedianen Kortex und insbesondere des ACC stehen schließlich auch in Zusammenhang mit Funktionen des orbitofrontalen Kortex (OFC). Der OFC spielt ebenso wie der posteriore frontomediane Kortex bzw. die rCZ im engeren Sinne eine Rolle bei der adaptiven Verhaltensanpassung. Monitoring-Prozesse des OFC dienen dabei in erster Linie der Evaluation sensorischer Informationen und deren Konsequenzen für das Individuum (Ullsperger & von Cramon, 2004). Aktivierungen des OFC finden sich daher im Zusammenhang mit kognitiven Entscheidungsprozessen aber auch bei der Wahrnehmung salienter und neuartiger Stimuli im Rahmen von Oddball-Paradigmen (Laurens et al., 2005; Ridderinkhof, 2004a). Die Bedeutung des OFC im Rahmen emotionaler Bewertungsprozesse wird im nächsten Kapitel erläutert.

#### **2.2.1.4 Ein neuronales Modell kognitiver Kontrollprozesse**

Zusammenfassend sollen die Funktionen kognitiver Kontrolle noch einmal modellhaft dargestellt werden. Das aktuelle innerlich repräsentierte Ziel bzw. das task-set wird in der Aktivierung präfrontaler Kortexareale widerspiegelt, welche im Sinne einer top-down Beeinflussung die Verarbeitung in spezifischen sensorischen Assoziationsarealen der Parietal- und Temporallappen steuern und auf diese Weise kognitive Kontrolle ausüben. Gleichzeitig laufen im Hintergrund Monitoring-Prozesse ab, wobei unerwartete und bedeutsame Stimuli die Aktivität in den oben genannten Arealen beeinflussen können, so dass sich das Individuum an geänderte Anforderungen anpassen kann. In diesem Sinne kann die top-down-Kontrolle automatisch durch das Auftreten von Antwortkonflikt getriggert werden, wobei die Identifizierung von Antwortkonflikt mit einer gesteigerten Aktivität des ACC bzw. des medialen präfrontalen Kortex assoziiert ist (Gruber & Goschke, 2004).

#### **2.2.2 Neuronale Korrelate der Verarbeitung emotionsrelevanter Stimuli**

Es existieren unterschiedliche Modelle zur Einteilung von Emotionen. Einerseits kann man Emotionen nach ihrer Qualität und ihren körperlichen Begleiterscheinungen in distinkte Kategorien einteilen, die sogenannten Basisemotionen wie beispielsweise Wut, Angst oder

Ekel (Ekman et al., 1983; Ekman, 1992). Andererseits können Emotionen auch hinreichend in einem zweidimensionalen Modell mit den Dimensionen Valenz und Erregung dargestellt werden (Russel, 1980; Feldman Barrett & Russel, 1999). Da das Ziel der vorliegenden Studie die Untersuchung eines generellen Einflusses negativer und erregender Affektzustände war, werden hier neuronale Korrelate spezifischer Emotionen nicht gesondert berücksichtigt. Die folgende Ausführung beschränkt sich daher auf die Darstellung allgemeiner emotionsassoziierter Hirnareale. Dabei werden die entsprechenden Areale beider Hemisphären gleichermaßen betrachtet, wobei jedoch der Beobachtung Rechnung getragen werden sollte, dass die Verarbeitung negativer Emotionen tendenziell in der rechten Hemisphäre lateralisiert zu sein scheint (Canli et al., 1998; Hartikainen et al., 2000; Lang et al., 1998).

Eine besonders wichtige Struktur bei der Emotionsverarbeitung spielt die Amygdala, ein subkortikales Kerngebiet, welches dem limbischen System zugerechnet wird (Trepel, 2004). Da die Amygdala beider Hemisphären in zahlreichen bildgebenden Studien mit unterschiedlichem emotionalem Stimulusmaterial signifikante Aktivierungen zeigte, wird sie als ein zentrales affektverarbeitendes Areal betrachtet (Berthoz et al., 2002; Calder et al., 2001; Davidson et al., 1999; Hariri et al., 2002; Lane et al., 1997; Mathews et al., 2004; Öhman, 2002; Paradiso et al., 1999; Phan et al., 2002; Phan et al., 2004; Sander et al., 2005; Stark et al., 2003; Wang et al., 2005). Einige Beobachtungen unterstützen zudem die Annahme, dass die Amygdala Bestandteil eines subkortikalen emotionsverarbeitenden Pfads ist: Wie Eastwood et al. (2001) zeigten, können emotional bedeutsame Stimuli auch dann wahrgenommen werden, wenn sie unterhalb der Bewusstseinsschwelle oder außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus dargeboten werden. In mehreren bildgebenden Untersuchungen wurden in diesem Zusammenhang Amygdala-Aktivierungen nachgewiesen (Pessoa, 2005; Killgore & Yurgelun-Todd, 2004; Vuilleumier et al., 2001). Die Befundlage spricht somit dafür, dass sensorische Informationen über einen subkortikalen Weg direkt die Amygdala erreichen, ohne dass sie zuvor im Neokortex elaboriert wurden (Das et al., 2005; Morris et al., 1999). In mehreren Studien wurde außerdem versucht, die Amygdala mit der Erregungs- oder mit der Valenzdimension in Verbindung zu bringen (Anders et al., 2004; Cunningham et al., 2004). Widersprüchliche Befunde zeigten allerdings, dass die Amygdala nicht einer spezifischen Emotionsdimension zuzuordnen ist, sondern dass ihre Rolle für die neuronale Emotionsverarbeitung wesentlich breiter zu sein scheint. Die Gesamtheit der Befunde macht deutlich, dass die Amygdala eine Schlüsselfunktion in der Affektverarbeitung hat.

Eine Reihe weiterer subkortikaler Kerngebiete und Areale spielen ebenfalls eine Rolle bei der Emotionsverarbeitung. Dazu gehören die Insel, Teile des Basalganglien, Kerne des Hirnstamms, der Hippocampus und der parahippocampale Kortex, die Colliculi superiores der Vierhügelplatte, der Hypothalamus sowie der Thalamus als Schaltstelle aufsteigender Impulse zum Neokortex (Anders et al., 2004; Berthoz et al., 2002; Cunningham et al., 2004; Lane et al., 1997; Mathews et al., 2004; Schienle et al., 2002). Auch Aktivierungen von Teilen des Kleinhirns wurden regelmäßig im Rahmen der Affektverarbeitung beobachtet (Cunningham et al., 2004; Lane et al., 1997; Paradiso et al., 1999).

Weiterhin sind auch neokortikale Aktivierungen im Zusammenhang mit der Darbietung emotionaler Informationen berichtet worden. Dies betrifft zum einen Areale im posterioren Anteil des Gehirns wie okzipitale, temporo-okzipitale und parieto-okzipitale Areale sowie die posterioren sensorischen Assoziationskortexe (Lang et al., 1998; Lane et al., 1997; Mourão-Miranda et al., 2003; Phan et al., 2002; Paradiso et al., 1999). Aktivierungen dieser Kortexareale werden dabei als Zeichen einer allgemeinen Aufmerksamkeitsreaktion auf einen visuellen Stimulus interpretiert (Lane et al., 1999; Pessoa & Ungerleider, 2004). Auch eine Beteiligung des präzentralen und postzentralen Gyrus an der Emotionsverarbeitung wurde beobachtet (Adolphs et al., 2000; Anders et al., 2004; Cunningham et al., 2004; Damasio et al., 2000; Mathews et al., 2004). In der anterioren Gehirnhälfte wurden affektassoziierte Aktivierungen im Bereich des vorderen Temporallappens und des superioren temporalen Sulcus gefunden (Britton et al., 2006a; Britton et al., 2006b; Cunningham et al., 2004; Moll et al., 2002). Ebenso wurden Aktivierungen im Bereich des lateralen präfrontalen Kortex im Zusammenhang mit der Emotionsverarbeitung beobachtet (Cunningham et al., 2004; Grimm et al., 2006; Gundel et al., 2003; Lane et al., 1997; Schienle et al., 2002; Wang et al., 2005).

Ein Areal des präfrontalen Kortex nimmt eine besondere Stellung bei der Emotionsverarbeitung ein: Der orbitofrontale Kortex (OFC) hält eine evaluative Funktion inne (vgl. [2.2.1.3](#)), welche auch bei der Bewertung emotional salienter Stimuli zu tragen kommt. In der Regel werden Aktivierungen des OFC mit der Valenz-Dimension der Emotion in Verbindung gebracht (Anderson et al., 2003; Cunningham et al., 2004; Britton et al., 2006b). Im gleichen Sinne werden auch Aktivierungen der benachbarten Frontalpole interpretiert (Cunningham et al., 2004).

Schließlich spielen einige mediale Kortexareale bei der Emotionsverarbeitung eine wichtige Rolle. Zum einen wurden Aktivierungen im Bereich des posterioren cingulären Kortex (PCC) und des Precuneus berichtet (Britton et al., 2006b; Gündel et al., 2003; Mathews et al., 2004; Paradiso et al., 1999). Beide Areale sind auch im Ruhezustand des Gehirns aktiv (vgl. [2.2.1.3](#)) und haben wahrscheinlich die Funktion, permanent Informationen aus der Umwelt zu sammeln, und auf verhaltensrelevante Reize zu reagieren (Kennedy et al., 2006; Raichle et al., 2001; Schulman et al., 1997).

Zum anderen wurden insbesondere Aktivierungen des ACC oder des frontomedianen Kortex im Zusammenhang mit der Verarbeitung emotionsrelevanter Stimuli sehr häufig beobachtet (Anders et al., 2004; Berthoz et al., 2002; Britton et al., 2006a; Bush et al., 2000; Harenski & Hamann, 2006; Paradiso et al., 1999; Schienle et al., 2002). In Abschnitt [2.2.1.3](#) wurde die besondere Rolle dieser Kortexregion im Rahmen kognitiver Kontrolle erläutert. Auch die Annahme, dass insbesondere der anteriore Anteil des ACC mit der Affektverarbeitung zu tun hat, wurde bereits angesprochen. Aus funktionellen bildgebenden Untersuchungen ging also hervor, dass der frontomediane Kortex sowohl im Dienste kognitiver als auch affektiver Verarbeitungsprozesse steht. Konnektivitätsanalysen konnten zudem zeigen, dass der ACC zahlreiche Verbindungen zu anderen Gehirnregionen aufweist, und zwar sowohl zu subkortikalen, emotionsverarbeitenden Arealen, als auch zu höheren neokortikalen Arealen (Bush et al., 2000; De Marco et al., 2006). Schließlich konnte auch in Untersuchungen mit Einzelzelleableitungen gezeigt werden, dass Neuronen des ACC sowohl auf kognitive als auch auf emotionale Aufgabeninhalte reagieren (Davis et al., 2005). Insofern scheint durchaus die Annahme gerechtfertigt, dass der mediale präfrontale Kortex der Integration von Emotion und Kognition dient, indem er emotionale Signale in kognitive Kontrollprozesse einfließen lässt (Raichle et al., 2001; Simpson et al., 2001a; Simpson et al., 2001b; Yamasaki et al., 2002). Diese Hypothese wirft unmittelbar die Frage auf, wie diese emotionale Einflussnahme auf kognitive Kontrollprozesse auf neuronaler Ebene repräsentiert sein mag.

### **2.3 Korrelate affektiv-kognitiver Interaktion**

Zahlreiche Paradigmen wurden entwickelt, in denen emotionale und kognitive Prozesse in ihrer Interaktion untersucht wurden. Im folgenden wird die aktuelle Befundlage zu diesem Thema resümiert.

### 2.3.1 Behaviorale Korrelate affektiv-kognitiver Interaktion

In einer Studie von Coombes et al. (2005) wurde die Frage untersucht, welchen Einfluss ein emotionaler Zustand auf die Leistung in einer einfachen motorischen Aufgabe wie einer Zeichenaufgabe („square tracing task“) hat. Die Darbietung negativ-valenter Stimuli führte hier einerseits zu einer erhöhten Fehlerrate, sowie andererseits zu einer Zunahme der motorischen Geschwindigkeit. Zu einem ähnlichen Ergebnis führte eine Untersuchung mit einem Paradigma zur räumlichen Vorankündigung („spatial precueing Paradigma“), in welchem gleichzeitig mit einem Signalstimulus („cue“) auch immer ein emotionales Bild dargeboten wurde. Negativ-erregende Bilder beeinflussten die Reaktion auf einen nachfolgenden Zielreiz („target“) im Sinne erhöhter Fehlerraten und verkürzter Reaktionszeiten (Tipples & Sharma, 2000).

Andere Befunde stammen aus Untersuchungen mit einer emotionalen Variante der Stroop-Aufgabe. In solch einer emotionalen Stroop-Aufgabe sollen Probanden die Schriftfarbe emotional bedeutsamer Wörter beurteilen, wodurch die Aufgabe sowohl eine emotionale als auch eine kognitive Komponente erhält. Signifikante Reaktionszeiterhöhungen im Zusammenhang mit der Beurteilung negativ-valenter Wortstimuli stellen daher einen affektiv-kognitiven Interaktionseffekt dar (Compton & Banich, 2003; Pratto & John, 1991). Simpson et al. (2000) führten eine Untersuchung durch, in welcher die Teilnehmer bestimmte nicht-emotionale Aspekte von emotionalen Bildern beurteilen sollten. Auch hier zeigten sich signifikant längere Reaktionszeiten bei der Beurteilung negativ-valenter Bilder.

In anderen Paradigmen wurden emotionale und kognitive Aufgabenkomponente durch Darbietung verschiedener Stimuli verwirklicht. In einer Studie von Smith Erthal et al. (2005) sollte die Ausrichtung von Balken beurteilt werden, welche neben einem emotionalen Bild dargeboten wurden. Die Anwesenheit eines negativen Bilds führte dazu, dass sich die Reaktionszeit für die Lösung der Aufgabe signifikant erhöhte. In einer ähnlichen Untersuchungen sollten Probanden Mathematikaufgaben lösen oder die Lokalisation einer Linie beschreiben, während gleichzeitig dargebotene emotionale Bilder ignoriert werden sollten. Hier ergab sich, dass diejenigen Bilder mit den höchsten Werten in der Dimension „Erregung“ zur stärksten Interferenz mit den kognitiven Aufgaben führten (Schimmack, 2005). Der Einfluss einer präinduzierten Emotion auf die Leistung in einer Buchstabenerkennungsaufgabe („Continuous Performance Task“) wurde in einem Experiment untersucht, in welchem Probanden zunächst ein emotionales Bild betrachteten und



anschließend eine definierte Buchstabenabfolge identifizieren sollten. Bei der Analyse der Fehlerhäufigkeiten und der Reaktionszeiten stellte sich heraus, dass weder der kognitive noch der emotionale Faktor einen signifikanten Haupteffekt verursachte. Jedoch zeigte sich in beiden Verhaltensmodalitäten ein affektiv-kognitiver Interaktionseffekt (Dreisbach, 2006).

Zusammenfassend stellt sich folgendes Bild dar: In Aufgaben, welche an die Probanden in erster Linie motorische Anforderungen stellten, führte die Darbietung negativer Stimuli zu verkürzten Reaktionszeiten. In Studien mit anspruchsvolleren kognitiven Aufgaben hingegen wurden signifikante Interaktionseffekte mit Reaktionszeitverlängerungen bei der Darbietung negativ-valenter und/oder hoch erregender emotionaler Stimuli gefunden. Studien, in welchen auch die Fehlerhäufigkeiten untersucht wurden, konnten auch dort Interaktionseffekte aufzeigen, im Sinne erhöhter Fehlerzahlen unter negativen Affektbedingungen.

### **2.3.2 Neuronale Korrelate affektiv-kognitiver Interaktion**

Erste Hinweise dafür, dass die angeführten Interaktionseffekte aus spezifischen neuronalen Prozessen resultieren, ergeben sich aus einigen Elektroenzephalographie-Studien (EEG) bzw. Untersuchungen zu ereigniskorrelierten Potenzialen („event-related potentials“, ERP). In einer Studie von Carretié et al. (2004) wurden im Rahmen eines Oddball-Paradigmas emotional saliente Reize intermittierend dargeboten. Es stellte sich heraus, dass eine mit Aufmerksamkeitsprozessen in Zusammenhang gebrachte ERP-Form durch den emotional relevanten Inhalt der dargebotenen Bilder moduliert wurde. Ebenso kam auch eine EEG-Untersuchung, in welcher motivational bedeutsame affektive Bilder gezeigt wurden, zu dem Ergebnis, dass die Verarbeitung dieser Bilder mit verstärkten Aufmerksamkeitsprozessen im Zusammenhang stand (Schupp et al., 2004).

Diese Beobachtung wurde durch Befunde aus bildgebenden Untersuchungen unterstützt: In einer Positronen-Emissions-Tomographie-Studie (PET) sollten Probanden während der Darbietung affektiver Bilder eine aufmerksamkeitserfordernde Aufgabe bearbeiten. Es stellte sich heraus, dass die Aufmerksamkeit auf die Aufgabe und die Verarbeitung der emotionalen Stimuli zu Aktivierungen in den gleichen visuellen Verarbeitungsarealen führten. Dieses Ergebnis unterstützt die Hypothese, dass emotionale Erregung die Ausrichtung von Aufmerksamkeitsressourcen beeinflusst, um die Sensibilität gegenüber Veränderungen der Umgebung zu erhöhen, welche für das Individuum potenziell bedeutsam sind (Lane et. al., 1999). Allgemeine Aufmerksamkeitsprozesse, wie sie sich in der Aktivität des visuellen

Systems widerspiegeln, werden demnach auch im Zusammenhang der Verarbeitung emotional relevanter Stimuli rekrutiert. In diesem Sinne kann es zu einer Konkurrenz um Aufmerksamkeitsressourcen kommen, wenn emotionale und kognitive Aspekte gleichzeitig oder in einem engen zeitlichen Rahmen verarbeitet werden, wobei insbesondere negativ-valente Stimuli zu einer Interferenz mit anderen aufmerksamkeitserfordernenden Prozessen führen (Pessoa & Ungerleider, 2004).

Im Einklang mit diesen Ergebnissen stehen Beobachtungen aus bildgebenden Untersuchungen, in welchen der laterale präfrontale Kortex im Zusammenhang mit einer affektiv-kognitiven Interaktion aktiviert war. Bei der Messung funktioneller Hirnaktivierungen während einer emotionalen Stroop-Aufgabe stellte sich heraus, dass die Beurteilung der Schriftfarbe von emotionalen Worten mit einer stärkeren Aktivität des DLPFC assoziiert war (Herrington et al., 2005). Eine Studie, in welcher Hirnaktivierungen sowohl bei der klassischen Stroop-Aufgabe als auch bei deren emotionaler Variante untersucht wurden, ergab, dass der DLPFC sowohl bei inkongruenten (vgl. [2.1.2.1.1](#)) als auch bei negativ-valenten Stimuli stärker aktiviert war. Schlussfolgernd wurde angenommen, dass der DLPFC der Konfiguration des „attentional-sets“ (vgl. [2.2.1.1](#)) in der Anwesenheit von salienten Distraktoren dient und demnach nicht nur im Zusammenhang mit kognitivem Konflikt sondern auch mit salienten emotionalen Stimuli eine Rolle spielt (Compton & Banich, 2003). Diese Hypothese wird weiterhin durch eine Untersuchung unterstützt, in welcher sich eine signifikante Aktivierung des DLPFC als Interaktionseffekt einer emotionalen und einer kognitiven Aufgabenkomponente zeigte (Gray et al., 2002). Und auch eine Studie, in welcher nicht-emotionale Aspekte von emotional bedeutsamen Bildern beurteilt werden sollten, ergab signifikant stärkere Aktivierungen des lateralen präfrontalen Kortex nach negativ-valenten Bildern (Simpson et al., 2000).

Aus den dargestellten Befunden wird erstens deutlich, dass emotional bedeutsame Stimuli Aufmerksamkeitsressourcen beanspruchen und die Aktivität in aufmerksamkeitsassoziierten Hirnarealen beeinflussen. Zweitens zeigte sich eine stärkere Rekrutierung des lateralen präfrontalen Kortex, wenn zeitgleich die Bewältigung kognitiver Anforderungen verlangt wurde.

Neben dieser Beobachtung von Mehraktivierungen durch affektiv-kognitive Interaktion wurden aber auch gegenläufige Aktivierungsmuster affektiver und kognitiver

Verarbeitungsareale in diesem Zusammenhang berichtet. In einer Übersichtsarbeit über mehrere bildgebende Untersuchungen wurde festgestellt, dass Areale, welche mit Affektverarbeitung im Zusammenhang stehen, während der Bearbeitung aufmerksamkeitserfordernder kognitiver Aufgaben eine verminderte Aktivität zeigten, während andere Areale, welche in erster Linie kognitive Funktionen erfüllen, eine Aktivitätsabnahme bei induzierten oder pathologischen Affektzuständen zeigten (Drevets & Raichle et al., 1998). Dieses als Reziprozität bezeichnete Phänomen konnte in einigen neueren bildgebenden Studien bestätigt werden. In einer Untersuchung wurden den Probanden zunächst emotionale Bilder präsentiert, welche anschließend kategorisiert werden sollten. Während die alleinige Darbietung der Bilder zu Amygdala-Aktivierungen führte, konnte bei der kognitiven Evaluation derselben eine Zunahme der Aktivität des präfrontalen Kortex und einer gleichzeitigen Abnahme der Amygdala-Aktivierung verzeichnet werden (Hariri et al., 2003). Analogerweise führte in einer anderen Studie die kognitive Bewertung negativ-valenter Wortstimuli zu einer Abnahme von Amygdala-Aktivität (Compton & Banich, 2003). In einer Studie von Northoff et al. (2004) sollten sowohl emotionale als auch nicht-emotionale Merkmale von Photographien beurteilt werden. Auch hier zeigte sich eine reziprokes Aktivierungsmuster mit signifikant stärkeren Aktivierungen des medialen präfrontalen Kortex in der emotionalen Bedingung und signifikant stärkeren Aktivierungen des lateralen präfrontalen Kortex in der nicht-emotionalen Bedingung.

Zusammengefasst scheint sich eine affektiv-kognitive Interaktion auf neuronaler Ebene in zweierlei Hinsicht abzuspielen. Zum einen führt die Darbietung einer emotionalen Information nachfolgend zu einer stärkeren Rekrutierung kognitiver Verarbeitungsareale während der Bearbeitung einer kognitiven Aufgabe. Zum zweiten sind parallel zu diesen Mehraktivierungen Aktivierungsabnahmen in affektverarbeitenden Arealen zu beobachten, wenn ein affektiver Stimulus mit einer kognitiven Aufgabenstellung gepaart ist. Insofern verändert sich das Aktivierungsmuster in Arealen der emotionalen und kognitiven Verarbeitung gegenläufig.

## **2.4 Hypothesen der vorliegenden Arbeit**

In der vorliegenden Studie sollte gezielt der Einfluss eines negativ-erregenden Affektzustands auf die neuronalen Mechanismen kognitiver Kontrolle untersucht werden. Insbesondere sollten dessen Einfluss auf die kognitiven Kontrollmechanismen in zwei

Interferenzsituationen untersucht werden: Zum einen die Lösung kognitiven Konflikts auf der Antwortebene und zum anderen die Überschreibung einer Aufmerksamkeitsreaktion auf einen salienten, konkurrierenden Stimulus. Aufgrund der dargestellten Befunde zum Thema kognitive Kontrolle, Emotionsverarbeitung und affektiv-kognitive Interaktion wurden folgende Hypothesen für die vorliegende Fragestellung aufgestellt:

### **2.4.1 Hypothesen zu Verhaltenseffekten**

Bezüglich des Hauptfaktors kognitive Kontrolle erwarteten wir eine Replikation der dargestellten Befunde: In den beiden Interferenzbedingungen Stroop-Inkongruenz (vgl. [2.1.2.1.1](#)) und Interferenz durch Seltenheit (vgl. [2.1.2.2.1](#)) sollten sich Verlängerungen der Reaktionszeiten und Erhöhungen der Fehlerraten zeigen, wohingegen eine Kongruenzbedingung (vgl. [2.1.2.1.1](#)) zu verkürzten Reaktionszeiten und zu einer Abnahme der Fehlerhäufigkeit führen sollte. Dieses Muster sollte unabhängig von einer präinduzierten Emotion sein und sowohl in einer neutralen als auch einer negativen Affektbedingung auftreten.

Zusätzlich erwarteten wir einen spezifischen Interaktionseffekt: Eine negativ-erregende Emotion sollte zur Interferenz mit der Aufgabe führen, und zwar insbesondere in den Bedingungen, welche per se verstärkte kognitive Kontrolle verlangen. Sowohl der Inkongruenz- als auch der Seltenheitseffekt sollten daher unter dem Einfluss einer negativ-erregenden Emotion ausgeprägter sein, das heißt es sollte in diesen Fällen eine zusätzliche Erhöhung der Reaktionszeiten und der Fehlerraten zu verzeichnen sein.

### **2.4.2 Neuroanatomische Hypothesen**

Auf neuronaler Ebene sollte eine adäquate Emotionsinduktion nachzuvollziehen sein: Die Induktion negativ-erregender Affektzustände sollte mit Aktivierungen in einer Reihe derjenigen Hirnareale einhergehen, welche in Abschnitt [2.2.2](#) in Zusammenhang mit Emotionsverarbeitung angeführt wurden. Insbesondere wurde eine Beteiligung der Amygdala erwartet. Im Bereich des Neokortex erwarteten wir Aktivierungen in Arealen, welche allgemeine visuelle Aufmerksamkeitsprozesse widerspiegeln.

Während der Bearbeitung des kognitiven Aufgabenteils erwarteten wir Aktivierungen, welche in wesentlichen Punkten die neuronalen Prozesse kognitiver Kontrolle widerspiegeln sollten,

wie sie in Kapitel [2.2.1](#) dargestellt wurden. Bei den verschiedenen kognitiven Bedingungen sollten sich im einzelnen folgende neuronale Aktivierungen wiederfinden:

Bei Stroop-Inkongruenz erwarteten wir eine Beteiligung des lateralen präfrontalen Kortex im Rahmen von task-set Management Prozessen. Entlang des dorsalen frontoparietalen Aufmerksamkeitsnetzwerks sollten sich Aktivierungen finden als Folge einer top-down gerichteten Beeinflussung durch laterale präfrontale Kortexareale. Auch eine Beteiligung des medialen präfrontalen Kortex war aufgrund bisheriger Befunde vorhersagbar.

In der Seltenheitsbedingungen erwarteten wir eine Beteiligung des ventralen frontoparietalen Netzwerks im Rahmen einer Orientierungsreaktion auf den unerwarteten salienten Stimulus. Die Überschreibung dieser Orientierungsreaktion sollte sich in Aktivierungen zentraler exekutiver Kontrollareale widerspiegeln, wie dem lateralen präfrontalen Kortex.

Der Einfluss der präinduzierten negativ-erregenden Emotion auf diese neuronalen Prozesse kognitiver Kontrolle sollte im wesentlichen zwei Effekte haben. Erstens erwarteten wir eine quantitative Modulation kognitiver Kontrollprozesse mit stärkeren Aktivierungen nach Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands. Zweitens sollten sich Zeichen einer Reziprozität zwischen Arealen der emotionalen und der kognitiven Verarbeitung zeigen (vgl. [2.3.2](#)).

## **3 Methoden**

### **3.1 Datenerhebung**

#### **3.1.1 Versuchspersonen**

An der Untersuchung nahmen 17 Probanden im Alter zwischen 19 und 34 Jahren teil, von denen sieben männlich waren. Alle Probanden waren Rechtshänder, neurologisch sowie psychiatrisch gesund, und sprachen deutsch als Muttersprache. Die Teilnehmer wurden mithilfe eines standardisierten Instruktionsblatts (siehe [Instruktionsblatt](#)) über den Ablauf des Experimentes unterrichtet und hatten vor der Messung Gelegenheit, sich während einer Trainingseinheit mit der Aufgabe vertraut zu machen. Nach der Messung wurden alle Teilnehmer über den Hintergrund und die Fragestellung der Studie informiert und willigten schriftlich in die Verwendung der gewonnenen Daten zur Analyse und Untersuchung kognitiver Prozesse ein. Für die Teilnahme am Experiment wurden die Teilnehmer mit 15 € entlohnt. Bei zwei Teilnehmern konnte die Messung nicht bis zum Ende durchgeführt werden, so dass von diesen Probanden nur ein Teil der Daten bei der Auswertung berücksichtigt werden konnte.

#### **3.1.2 Methode der funktionellen Hirnbildgebung**

Es existieren unterschiedliche Methoden, die Funktionsweise des Gehirns zu untersuchen. Zum einen bieten Untersuchungen an neurologischen Patienten mit klar lokalisierbaren Gehirnläsionen die Möglichkeit, einen empirischen Zusammenhang zwischen betroffenen Gehirnstrukturen und bestimmten kognitiven oder sozialen Defiziten herzustellen (Henn, 1994; Damasio, 1994). Zum anderen kann man mit modernen bildgebenden Verfahren gezielte Fragestellungen untersuchen, indem man die regionalen Aktivierungen des Gehirns als Reaktion auf verschiedene zerebrale Stimulations-Paradigmen bildlich darstellt. Zu diesen Verfahren gehören die Positronen-Emissions-Tomographie (PET), welche die Applikation radioaktiv-markierter Glukose impliziert, und die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), welche ein nicht-invasives Verfahren ohne Verwendung von Röntgenstrahlen darstellt (Poeck & Hacke 2001). Letzere wurde im vorliegenden Experiment angewandt.

### 3.1.2.1 Physikalische Grundlagen der Magnetresonanztomographie

Die Grundlage der Magnetresonanztomographie beruht auf einer spezifischen Eigenschaft von Atomkernen mit ungerader Nukleonenzahl, von denen das Proton eine herausragende Bedeutung in der menschlichen Biologie hat. Jedes Proton besitzt einen Eigendrehimpuls, den sog. Kernspin, durch welchen sich der Atomkern um die eigene Achse dreht. Durch diesen Kernspin entsteht ein magnetisches Dipolmoment. In der Natur liegen diese magnetischen Dipole ungeordnet vor und kompensieren sich gegenseitig. Wendet man jedoch ein starkes äußeres Magnetfeld auf die Protonen an, so erfolgt eine parallele Ausrichtung der Dipole im Magnetfeld, was als Längsmagnetisierung bezeichnet wird. Darüberhinaus vollzieht jedes Proton eine Präzessionsbewegung, das heißt eine Kreiselbewegung um die Achse eines Magnetfelds. Durch die Anwendung eines starken äußeren Magnetfelds erhalten die Protonen auch eine bestimmte stoffspezifische Präzessions- oder Larmorfrequenz. Die durch das starke äußere Magnetfeld hergestellte Längsmagnetisierung und Larmorfrequenz bilden die Voraussetzung für das Phänomen der magnetischen Resonanz:

Sendet man unter Anwendung eines starken äußeren Magnetfelds zusätzlich einen Hochfrequenz- (HF) Impuls auf die Protonen, so absorbieren diese Energie und werden in einen höheren energetischen Zustand gebracht. Dies führt erstens zur Auslenkung der Längsmagnetisierung (=Quermagnetisierung) und zweitens zu einer Synchronisation der Präzessionsbewegung. Nach Beendigung des HF-Impulses wird die von den Protonen aufgenommene Energie wieder abgegeben. Dieser als Relaxation bezeichnete Vorgang besteht aus einer Rückkehr in die Längsmagnetisierung (= Längsrelaxation) sowie einer Desynchronisation der Präzessionsbewegung (= Querrelaxation). Diese Relaxationsvorgänge lassen sich durch folgende gewebespezifische Zeitkonstanten beschreiben: T1 stellt die Konstante der Längsrelaxation dar, während mit T2 die Konstante der Querrelaxation bezeichnet wird.

Zur Bilderzeugung wird die von den Protonen während der Längsrelaxation abgegebene Energie gemessen. Da dieser gemessene magnetische Impuls jedoch sehr klein ist, wird eine Sequenz von HF-Impulsen abgegeben, um ein stabiles Signal zu erreichen. In dieser Puls-Sequenz sind zwei wichtige Parameter zu unterscheiden: Die Repetitionszeit (TR) bezeichnet die Zeit zwischen zwei Anregungen, und die Echozeit (TE) stellt die Zeit zwischen Anregung und Signalaufnahme dar. Durch Variation dieser beiden Parameter lassen sich Bilder mit unterschiedlichen Kontrasten erzeugen: Bei T1-gewichteten Sequenzen sind TR und TE kurz,

so dass vor allem Gewebe mit einer kurzen T1-Phase dargestellt werden, wie beispielsweise Fettgewebe oder weiße Hirnsubstanz. Die T2-gewichtete Sequenz hingegen ist durch längere TR und TE charakterisiert, und dient der Darstellung von Substanzen mit einer längeren T2-Phase, wie Wasser beziehungsweise Körperflüssigkeiten wie Liquor oder Blut (Hünerbein 2004).

### **3.1.2.2 Die funktionelle Magnetresonanztomographie**

Zur funktionellen Hirnbildgebung mittels fMRI werden die physikalischen Eigenschaften der Magnetresonanztomographie in Verbindung gebracht mit den physiologischen Eigenschaften des aktivierten Gehirns. Dabei macht man sich die Tatsache zunutze, dass erhöhte Hirntätigkeit mit einer Steigerung des Zellstoffwechsels und folglich einem erhöhten Bedarf an Sauerstoff verbunden ist. Daher findet in aktivierten Hirnarealen ein verstärkter Blutfluss statt, wodurch in verstärktem Maße oxygeniertes Hämoglobin geliefert wird. Da die Durchblutung in höheren Maße gesteigert wird als der Sauerstoffverbrauch durch die stoffwechselaktiven Hirnzellen, ist Hirnaktivität mit einer lokalen Zunahme von Oxyhämoglobin verbunden (Henn, 1994). Dieses Phänomen bildet die Grundlage der funktionellen Magnetresonanztomographie, da das Hämoglobin-Molekül je nach Oxygenierungszustand unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweist: Im oxygenierten Zustand verhält sich Hämoglobin diamagnetisch, das heißt es liefert ein starkes Relaxationssignal. Im deoxygenierten Zustand hingegen weist Hämoglobin paramagnetische Eigenschaften auf, was mit einer Signalabnahme verbunden ist. Der Kontrast, welcher aus dieser Signaldifferenz resultiert, wird als „blood oxygenation level dependent“ (BOLD) – Kontrast bezeichnet. Im BOLD-Kontrast stellen sich also aktive Hirnareale mit einem verstärkten Signal dar (Matthews, 2001).

Folgende Besonderheiten sind außerdem bei der Bilderzeugung mittels fMRI zu berücksichtigen: Erstens muss zur Aufnahme von funktionellen Kernspinbildern eine T2-Gewichtung gewählt werden, da dies die geeignete Methode zur Darstellung von Flüssigkeiten und folglich der Durchblutung ist. Zweitens wird ein besonderes Sequenz-Verfahren angewendet, die sog. „Echo-Planar-Imaging“ (EPI) Technik. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, welches durch die simultane Messung mehrerer Schichten nach einem HF-Impuls eine besonders schnelle Bildgebung ermöglicht (Matthews, 2001).



### 3.1.2.3 FMRI-Messung in der vorliegenden Untersuchung

Es wurde ein Siemens-Gerät mit einer Magnetfeldstärke von 1.5 Tesla verwendet, welches mit echo-planar-imaging Technik ausgestattet ist. Für ein EPI-Bild wurden 17 Schichten gewählt, mit einer Schichtdicke von insgesamt 6mm (5mm + 1mm gap). Die Repetitionszeit TR betrug 1550ms, die Echozeit TE 50ms. Pro Session wurden 639 T2-gewichtete EPI-Bilder aufgenommen.

Zu Beginn der Messung wurde eine anatomische T1-gewichtete Messung durchgeführt, anhand derer die Ausrichtung der Schichten entlang einer gedachten Linie durch die anteriore und posteriore Kommissur festgelegt wurde, und welche bei der späteren Auswertung zum Abgleich von Aktivierungen und anatomischen Strukturen benötigt wurde. Daraufhin wurde mit der funktionellen T2-gewichteten Messung begonnen.

### 3.1.3 Experimentelle Bedingungen

#### 3.1.3.1 Affektinduktion: Affektive Bedingungen

Affekt wird experimentell häufig durch emotionale Gesichter (Ekman & Friesen 1975) oder durch Photographien von emotionalen Szenen induziert. In dieser Studie wurden Photographien aus dem standardisierten Bildinventar „International Affective Picture System“ (IAPS) (Lang et al. 2005) verwendet.

##### *3.1.3.1.1 Stufen des Faktors Affekt: „Negative Arousal“ und „Neutral“*

Da in dieser Studie eine negative Affektbedingung von einer neutralen abgegrenzt werden sollte, mussten aus dem IAPS-Inventar zwei unterschiedliche Gruppen von Bildern generiert werden: Zum einen eine Gruppe „Negative Arousal“, welche aus stark erregenden Bildern mit negativem Inhalt bestehen sollte, und zum anderen eine Gruppe „Neutral“ mit Bildern, die weder gefallen noch abstoßen und den Betrachter nicht in Erregung versetzen sollten. Um eine objektive Einteilung vorzunehmen, wurden von Lang et al. (2005) erhobene Ratings für die Emotionsdimensionen „Valence/Pleasure“, „Arousal“ und „Dominance“ zugrunde gelegt. In der Dimension „Valence/Pleasure“ sollten die Rater beurteilen, wie sehr ihnen eine Fotografie gefällt, in der Dimension „Arousal“ wie sehr sie durch das Bild in Erregung versetzt werden, und in der Dimension „Dominance“ sollte das Ausmaß der eigenen Kontrolle über die entsprechende Situation bewertet werden (Lang et al. 2005). Für die Auswahl in der vorliegenden Studie waren ausschließlich die Dimensionen „Valence/Pleasure“ und

„Arousal“ ausschlaggebend, da diese am besten mit dem zweidimensionalen Affektmodell von Russel et al. übereinstimmen (siehe: Russel, 1980; Feldman Barrett & Russel, 1999). Der Gruppe „Negative Arousal“ wurden 78 Bilder zugeteilt mit einem möglichst niedrigen Wert für „Valence/Pleasure“ und einem möglichst hohen Wert für „Arousal“; Photographien aus dieser Gruppe stellen beispielsweise Opfer von Verkehrsunfällen oder Gewaltverbrechen dar (s. Abb 3.1). Der Gruppe „Neutral“ hingegen wurden 78 Photographien mit einem mittleren Wert für „Valence/Pleasure“ und einem möglichst niedrigen Wert für „Arousal“ zugeordnet; Motive in dieser Gruppe sind beispielsweise neutrale Porträtaufnahmen oder Situationen des täglichen Lebens (s. Abb. 3.2). Welche IAPS-Bilder die beiden Gruppen im einzelnen beinhalten ist dem Anhang zu entnehmen.



*Abb. 3.1: Beispiele für IAPS-Bilder aus der Gruppe „Negative Arousal“*



Abb. 3.2: Beispiele für IAPS-Bilder aus der Gruppe „Neutral“

Für beide Dimensionen „Valence/Pleasure“ und „Arousal“ wurden Mittelwerte und Standardabweichung berechnet (s. Abb. 3.3) und auf signifikante Unterschiede überprüft. Der t-Test für unabhängige Stichproben ergab einen t-Wert von  $-29.377$  für die Dimension „Valence/Arousal“ und einen t-Wert von  $33.583$  für die Dimension „Arousal“. Da beide Werte hochsignifikant sind ( $p < 0.001$ ) kann man annehmen, dass die beiden generierten Gruppen die Affektbedingungen „Negative Arousal“ und „Neutral“ zuverlässig voneinander abgrenzen.

	Affektbedingung „Neutral“		Affektbedingung „Negative Arousal“	
	Mittelwert	Standardabw.	Mittelwert	Standardabw.
<b>Dimension „Valence/Pleasure“</b>	5.87	0.89	2.21	0.65
<b>Dimension „Arousal“</b>	3.41	0.35	6.22	0.65

Abb. 3.3: Mittelwerte und Standardabweichung für die beiden Emotionsdimensionen in den Affektbedingungen „Neutral“ und „Negative Arousal“

Zusätzlich wurde noch eine dritte Gruppe von neutralen Bildern generiert, welche ausschließlich für die Trainingseinheit und die Starttrials verwendet wurden, und später nicht in die Auswertung eingingen.

*Anmerkung: Im folgenden wird bei der Gegenüberstellung der beiden emotionalen Bedingungen analog zum Begriff „negativ-erregende Affektinduktion“ der Terminus technicus „neutrale Affektinduktion“ verwendet, obgleich im eigentlichen Sinne in der neutralen Affektbedingung keine Emotion induziert wird.*

### 3.1.3.1.2 Kontrolle von Varianzquellen

Da sich die beiden Gruppen „Negative Arousal“ und „Neutral“ ausschließlich bezüglich ihres emotionalen Inhalts unterscheiden sollten, wurden Unterschiede bzgl. weiterer Merkmale kontrolliert:

#### a. Bildinhalt

Die Wahrnehmung und Erkennung bestimmter visueller Objekte spiegelt sich in der Aktivität visueller Gehirnareale wider. Dies ist insbesondere aus Studien zur Gesichterwahrnehmung bekannt (Aylward et al., 2005). Aber auch Objekte wie Häuser haben eine neuronale Entsprechung (Heekeren et al., 2004). Um diese potenzielle Varianzquelle durch unterschiedliche Bildinhalte zu eliminieren, wurden die IAPS-Bilder gemäß ihrem Inhalt in Kategorien eingeteilt, und die Häufigkeit der einzelnen Kategorien in den beiden Gruppen „Neutral“ und „Negative Arousal“ ausgeglichen. Dabei wurden Kategorien für unterschiedliche Anzahlen von Menschen und Tieren betrachtet, und jeder der beiden Affektgruppen die gleiche Anzahl von Bildern aus den einzelnen Kategorien zugeordnet (s. Abb 3.4).

	1 Mensch	2 Menschen	3 Menschen	4 Menschen oder mehr	1 Tier	gesamt
„Neutral“	51	5	3	11	8	78
„Negative Arousal“	51	5	3	11	8	78

Abb. 3.4: Anzahl der Bilder aus den Gruppen „Neutral“ und „Negative Arousal“ in den unterschiedlichen Kategorien

### b. Bildgröße

Da das Ausmaß der Aktivierungen im visuellen Kortex auch von der Größe des erregten Retina-Areals abhängt, wurden alle IAPS-Bilder auf eine einheitliche Größe formatiert. Einige Bilder mussten hierzu zurechtgeschnitten werden, wobei jedoch das Kernelement des Bildes immer unverändert blieb. Dabei wurden folgende Einstellungen gewählt: Breite 550 Pixel, Höhe 412 Pixel und eine relative Auflösung von 72 dpi.

### c. Bildkomplexität

Um systematische Unterschiede in der Bildkomplexität zwischen den beiden Gruppen von Bildern zu vermeiden, wurde ein „Tool“ entwickelt, mit welchem sich die Komplexität der IAPS-Bilder messtechnisch erfassen lässt. Der zugrundeliegende Gedanke war, dass sich die Komplexität eines Bildes als Varianz der Helligkeit einzelner Bildpunkte beschreiben lässt. Außerdem wurden zwei Zusatzüberlegungen angestellt: Erstens sollte die Komplexität nicht durch Strukturen beeinflusst werden, welche größer sind als eine definierte Ortsfrequenz. Die Bilder sollten also in einer gewissen „Unschärfe“ betrachtet werden, damit kleine Texturinhalte nicht in die Berechnung eingehen. Zweitens sollten die Farbtöne des RGB-Systems mit unterschiedlicher Gewichtung in die Berechnung eingehen, da diese vom Betrachter als unterschiedlich intensiv / hell wahrgenommen werden. Aus diesen theoretischen Überlegungen heraus wurde mit Matlab ein Befehl geschrieben, mit welchem für jedes IAPS-Bild eine Standardabweichung berechnet wurde. Der „Unschärfefefferkt“ wurde durch einen Tiefpassfilter mit der Einstellung 0,01 gewährleistet. Das heißt Strukturen, welche kleiner sind als 1/100 der Bildlänge, wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Für die Farbgewichtung wurde die Formel nach Craig herangezogen, welche mit den üblichen Videoeinstellungen übereinstimmt (Gewichtungen: rot = 0,299, grün = 0,587, blau = 0,114).

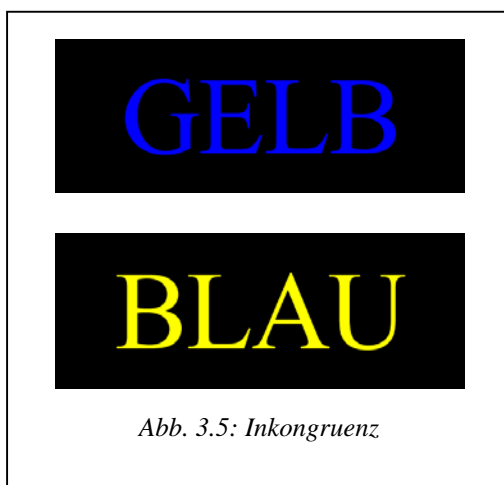
Die statistische Analyse der gewonnenen Standardabweichungen ergab für die Gruppe „Neutral“ eine mittlere Standardabweichung von 43,65 (sd = 9,26) und für die Gruppe „Negative Arousal“ eine mittlere Standardabweichung von 44,29 (sd = 9,76). Es liegt kein signifikanter Unterschied vor (  $t = 0,421$ ,  $p = ,674$ ). Somit unterscheiden sich die beiden Gruppen „Neutral“ und „Negative Arousal“ nicht bezüglich der Komplexität ihrer Bilder.

### 3.1.3.2 Induktion kognitiver Interferenz: Kognitive Bedingungen

In dieser Studie sollten zwei Arten von kognitiven Kontrollprozessen untersucht werden: Zum einen die Lösung kognitiven Konflikts und zum anderen die Überschreibung einer Aufmerksamkeitsreaktion auf einen unerwarteten, salienten Stimulus. Kognitiver Konflikt kann experimentell beispielsweise mit der Stroop-Aufgabe induziert werden (vgl. [2.1.2.1.1](#)), während Interferenz auf der Aufmerksamkeitsebene durch ein Oddball-Paradigma realisiert werden kann (vgl. [2.1.2.2.1](#)). Für diese Studie wurde ein Paradigma verwirklicht, welches beide Interferenzformen gleichermaßen beinhaltet: eine gemischte Stroop-Oddball-Aufgabe. Die Grundlage für dieses Paradigma bildet die Stroop-Aufgabe, welche noch um eine Oddball-Komponente erweitert wurde:

#### 3.1.3.2.1 Stroop-Bedingungen

Im vorliegenden Paradigma wurden beide Bedingungen Stroop-Inkongruenz und Stroop-Kongruenz verwirklicht. Die „Inkongruenz-Bedingung“ war identisch mit der klassischen Stroop-Interferenz-Bedingung und beinhaltete die folgenden Stimuli: Das Wort „BLAU“ in gelber Schriftfarbe und das Wort „GELB“ in blauer Schriftfarbe (s. Abb. 3.5). Analog dazu kamen in der „Kongruenz-Bedingung“ die gleichen Farbworte vor, allerdings wiesen hier Wortbedeutung und Schriftfarbe in die gleiche Richtung: Das Wort „BLAU“ wurde in blauer Farbe gezeigt, und das Wort „GELB“ in gelber Farbe (s. Abb. 3.6). Die Probanden sollten jeweils die Schriftfarbe dieser Stimuli per Tastendruck beurteilen, indem sie die linke Antworttaste für blaue Wortstimuli und die rechte Antworttaste für gelbe Stimuli drückten.



### 3.1.3.2.2 Oddball-Bedingung

Den beiden klassischen Stroop-Bedingungen „Inkongruenz“ und „Kongruenz“ wurde eine weitere Bedingung hinzugefügt, in welcher eine Seltenheitskomponente verwirklicht wurde. In dieser „Oddball-Bedingung“ wurden Wortstimuli dargeboten, welche aus neutralen Wörtern bestanden und im Vergleich zu den Stimuli der anderen Bedingungen seltener gezeigt wurden. Bei den Oddball-Stimuli handelte es sich um 12 Adjektive, welche aus vier Buchstaben und einer Silbe bestanden und sowohl farbneutral als auch weitestgehend emotionsneutral waren. Die Verwendung von Antonymen oder sonstigen semantischen Beziehungen zwischen den Wörtern wurde vermieden, um die Wahrnehmung von Wortverwandtschaften zu verhindern. Konkret setzte sich diese Gruppe aus folgenden Stimuli zusammen: „BRAV“, „FERN“, „HELL“, „HOCH“, „JUNG“, „KALT“, „KLUG“, „KURZ“, „LAUT“, „LEER“, „MILD“ und „NASS“. Alle Adjektive wurden sowohl in blauer als auch in gelber Schriftfarbe präsentiert (s. Abb. 3.7). Ebenso wie bei den anderen Bedingungen sollten die Probanden die Schriftfarbe per Tastendruck beurteilen.

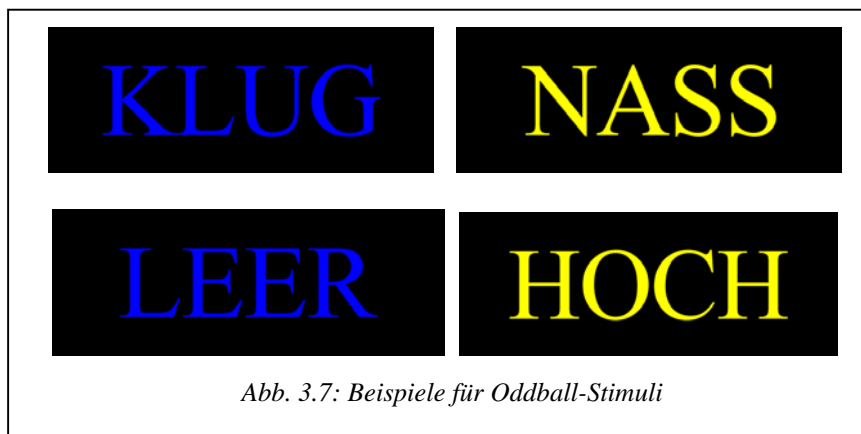


Abb. 3.7: Beispiele für Oddball-Stimuli

### 3.1.3.2.3 Baseline-Bedingung

Um eine Vergleichsgrundlage für die spätere Datenauswertung zu erhalten, wurde außerdem eine neutrale „Baseline“-Bedingung eingeführt. Als Baseline-Stimulus wurde das Wort „RUND“ ausgesucht, welches den obengenannten Farbwörtern und den Oddball-Stimuli in seiner Struktur möglichst ähnlich war (vier Buchstaben, eine Silbe) und weder durch semantischen oder emotionalen Bezug noch durch die Häufigkeit seiner Darbietung Interferenz induzieren sollte. Demnach sollte sich die Baseline-Bedingung nur in der

Dimension „Aufmerksamkeit / Ausmaß der kognitiven Verarbeitung“ von den anderen drei Bedingungen unterscheiden. Das Wort „RUND“ wurde sowohl in blauer als auch gelber Schriftfarbe präsentiert und genauso beantwortet wie die Stimuli der anderen Bedingungen (s. Abb. 3.8).



#### ***3.1.3.2.4 Technische Details der verwendeten Stimuli***

Die beschriebenen Wortstimuli wurden mit dem Softwarepaket „Corel Draw“ erstellt. Alle Wörter wurden in der Schriftart „Times New Roman“ in der Größe 170 auf dem Bildschirm gezeigt. Der Bildschirmhintergrund wurde schwarz gewählt (Einstellungen im RGB-System (Red / Green / Blue) = 0 / 0 / 0; Einstellungen im HSB-System (Hue / Saturation / Brightness) = 0 / 0 / 0). Für blaue und gelbe Wörter wurde im HSB-System gleiche Sättigung und Helligkeit eingestellt, im RGB-System wurden jeweils die reinen Farbtöne blau und gelb gewählt (Einstellungen für Blau: RGB = 0 / 0 / 255, HSB = 240 / 100 / 100; Einstellungen für Gelb: RGB = 255 / 255 / 0, HSB = 60 / 100 / 100).

#### ***3.1.3.2.5 Testung der interessierenden kognitiven Prozesse durch statistische Kontraste***

Um die kognitiven Kontrollmechanismen, welche mit den Bedingungen „Inkongruenz“ (=IN), „Kongruenz“ (=KO) und „Oddball“ (=OD) erfasst werden sollen, beurteilen zu können, müssen diese isoliert werden von allgemeinen Aspekten der Aufgabenverarbeitung und -bearbeitung wie beispielsweise visuelle Verarbeitung und motorische Antwort. Dies wird durch die sog. Subtraktionsmethode gewährleistet, in welcher der interessierenden Bedingung eine Kontroll- oder Vergleichsbedingung gegenübergestellt wird. Diese Vergleichsbedingung sollte dabei der interessierenden Bedingung in möglichst allen Aspekten gleichen, mit Ausnahme desjenigen Prozesses, welcher mit der interessierenden Bedingung erfasst werden soll (Gruber et al. 2005). Gemäß der Subtraktionsmethode wurden daher



Kontraste gebildet, indem jeweils die Differenz zwischen einer interessierenden Bedingungen (IN, KO, OD) und der „Baseline“-Bedingung (=BA) berechnet wurde (s. Abb. 3.9).

Effekt	Statistische Testung
Inkongruenz	IN-BA
Kongruenz	KO-BA
Oddball	OD-BA

Abb. 3.9: Effekte und deren statistische Testung durch Kontraste

### 3.1.3.3 Experimentelles Design

Zur Umsetzung der Fragestellung wurde ein Design gewählt, bei dem zu Beginn eines jeden Trials ein IAPS-Bild zur Emotionsinduktion gezeigt wurde, und anschließend ein Wortstimulus aus den unterschiedlichen kognitiven Bedingungen.

#### 3.1.3.3.1 Trialaufbau

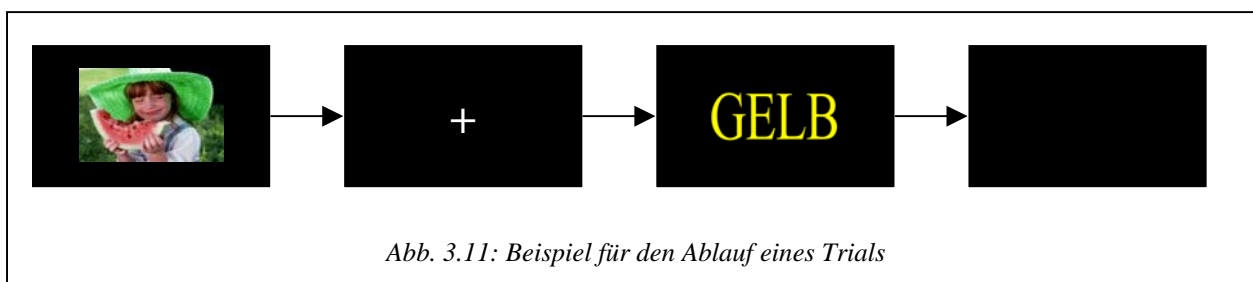
Jedes Trial bestand aus vier Ereignissen:

- (1) Zuerst wurde für eine Dauer von 250 ms ein IAPS-Bild gezeigt, welches je nach Affektbedingung entweder der Gruppe „Neutral“ oder „Negative Arousal“ entnommen wurde.
- (2) Zweitens folgte die Darbietung eines Fixationskreuzes vor einem schwarzen Hintergrund (= Delay). Die Zeitdauer dieses Delays war variabel und betrug entweder 500 ms oder 2000 ms. Die Variabilität der Delaydauer hatte messtechnische Gründe: Dadurch wurde die Möglichkeit geschaffen, bei der Auswertung der funktionellen Kernspinbilder die Aktivierungen von IAPS-Bild und Wortstimulus zu trennen und Überlagerungseffekte der hämodynamischen Antworten beider Stimuli herauszurechnen.
- (3) Drittens wurde ein Wortstimulus aus einer der vier Bedingungen KO, IN, OD oder BA gezeigt. Die Darbietungszeit für dieses „target“ betrug 750 ms.
- (4) Bis zum Beginn des nächsten Trials wurde schließlich noch einmal für die Dauer von 750 ms ein schwarzer Bildschirm gezeigt.

Der Proband hatte von Beginn der Darbietung des targets bis zum Ende des trials die Möglichkeit, die Farbe des Wortstimulus per Tastendruck zu beurteilen. Das Antwort-Fenster betrug somit 1500 ms (s. Abb 3.10). Die Gesamtdauer eines Trials betrug 2.25 s für Trials mit kurzem Delay und 3.75 s für Trials mit langem Delay. Ein Beispiel für den Ablauf eines Trials ist in Abb. 3.11 ersichtlich.

Emotionaler Stimulus: IAPS	250 ms	} Response-Fenster 1500 ms
Delay / Fixationskreuz	500 ms oder 2000 ms	
Target/ Aufgabe	750 ms	
Response	750 ms	

*Abb. 3.10: Aufbau eines Trials und Dauer der einzelnen Komponenten*



### 3.1.3.3.2 Anzahl und Aufteilung der Trials

Aus diesem Trialaufbau ergab sich ein 2 x 2 x 4 x 2 Design, so dass eine Gesamtzahl von 32 unterschiedlichen Trialtypen resultierte. Die Zusammensetzung dieser Trials ist in Abb. 3.12 definiert:

IAPS	Delay	KO	IN	BA	OD
Neutral	500 ms	NKKL = 33	NIKL = 33	NBKL = 33	NOKL = 18
		NKKR = 33	NIKR = 33	NBKR = 33	NOKR = 18
	2000 ms	NKLL = 33	NILL = 33	NBLL = 33	NOLL = 18
		NKLR = 33	NILR = 33	NBLR = 33	NOLR = 18
Arousal	500 ms	AKKL = 33	AIKL = 33	ABKL = 33	AOKL = 18
		AKKR = 33	AIKR = 33	ABKR = 33	AOKR = 18
	2000 ms	AKLL = 33	AILL = 33	ABLL = 33	AOLL = 18
		AKLR = 33	AILR = 33	ABLR = 33	AOLR = 18
$\Sigma$		264	264	264	144

*Abb. 3.12: Definition der 32 möglichen Trialarten und Fallzahlen*

*Anmerkung zur verwendeten Codierung: Die vier Buchstaben stehen für die vier Ereignisse eines Trials (IAPS, kognitive Bedingung, Delay, Antworttaste; resp.). Die Buchstabenkombination setzt sich aus den jeweiligen Anfangsbuchstaben der entsprechenden Ausprägung zusammen. Beispiel: NKKL = Neutral-Kongruenz-Kurz-Links.*

Aus den Fallzahlen geht hervor, dass im Durchschnitt jedes 6,5. Trial ein Oddball-Trial war. Da aber 24 verschiedene Oddball-Stimuli existieren (12 Adjektive in zwei Farben), kam ein einzelner dieser Stimuli nur sechs mal im gesamten Experiment vor. Dadurch wurde die Seltenheitsprämisse für die Oddball-Bedingung gewährleistet.

Die insgesamt 936 Trials (Gesamtdauer des Experiments = 46.8 min) wurden gleichmäßig auf drei Sessions / Sitzungen aus jeweils 312 Trials (entspricht 15.6 min) verteilt. Die Gesamtzahl der Trials wurde so ausbalanciert, dass in jeder Session jeder Oddball-Stimulus zwei Mal und jedes IAPS-Bild zwei Mal gezeigt wurde. Außerdem wurde durch eine ausbalancierte Trialabfolge gewährleistet, dass zwischen zwei Oddball-Trials mindestens ein Intervall von 10 Sekunden lag, so dass eine Überlagerung der hämodynamischen Oddball-Antworten vermieden wurde. Ferner wurde jeder Session ein Starttrial zugefügt, welches lediglich als Vorgängertrial diente, und bei der Auswertung nicht berücksichtigt wurde.

### ***3.1.3.3 Umsetzung in eine computer-gestützte Stimulation***

Das Paradigma wurde mithilfe der Darbietungssoftware „Presentation“ (Version 9) in ein Computerexperiment umgesetzt. Um eine Synchronisation zwischen der Trialabfolge des Experiments und dem Kernspintomographen zu erreichen, wurde eine sog. „Triggerung“ festgelegt. Durch die Triggerung wurde gewährleistet, dass die Darbietungssoftware („Presentation“) und der Kernspin-Tomograph regelmäßig gleichgeschaltet wurden. Hierzu wurde die Darbietungssoftware „Presentation“ so programmiert, dass sie in regelmäßigen Abständen auf einen Impuls des Scanners „wartete“, welcher die Darbietung des nächsten Trials auslöste. Im vorliegenden Experiment wurde eine Triggerung für jedes zweite Trial gewählt. Bei einer TR von 1550 ms resultierte somit je nach Trialzusammensetzung ein Zeitabstand zwischen drei und fünf TRs zwischen zwei triggernden Impulsen. Zur Veranschaulichung des Zusammenhangs zwischen Triallänge und TR siehe Abb. 3.13.

<b>Trialtyp</b>	<b>Trialdauer [ms]</b>	<b>Anzahl TRs</b>	<b>Dauer TRs [ms]</b>	<b>„Wartezeit“ [ms]</b>
<b>2 Trials mit kurzem Delay</b>	4500	3	4650	150
<b>1 x kurzes und 1 x langes Delay</b>	6000	4	6200	200
<b>2 Trials mit langem Delay</b>	7500	5	7750	250

*Abb. 3.13: Zeitliche Parameter der Triggerung*

Die Stimulation wurde mithilfe eines Beamers und eines Spiegelsystems in den Kernspintomographen-Raum übertragen, mithilfe derer die Bilder in das Gesichtsfeld der Probanden projiziert wurden. Zur Beantwortung der Aufgabe wurde eine Kernspin-geeignete Tastbox installiert, deren linke Taste mit dem Zeigefinger und deren rechte Taste mit dem Mittelfinger der rechten Hand zu betätigen war. Die Versuchspersonen wurden instruiert, die dargebotene Photographie zu beachten, und anschließend die Schriftfarbe des dargebotenen Wortes zu beurteilen, indem sie für blaue Stimuli eine linke Taste und für gelbe Stimuli eine rechte Taste drücken sollten. Der Tastendruck sollte so schnell wie möglich erfolgen und Fehler sollten nach Möglichkeit vermieden werden.

*[Anmerkung: Mit Ausnahme der Entwicklung des Tools zur Analyse der Bildkomplexität (vgl. [3.1.3.1.2](#)) wurden alle Schritte der Datenerhebung durch die Verfasserin dieser Arbeit durchgeführt.]*

## **3.2 Datenauswertung**

### **3.2.1 Verhaltensdaten**

Während der Kernspin-Messung wurden die Antworten der Probanden von „Presentation“ in einem „Logfile“ aufgezeichnet. Aus diesem „Logfile“ waren die Reaktionszeiten und die Fehlerraten zu entnehmen. Die Umkodierung des „Logfiles“ sowie die Berechnung der statistischen Analysen der Verhaltensdaten erfolgte mit dem Softwarepaket „SPSS“.

#### **3.2.1.1 Fehlerauswertung**

Zur Auswertung der Fehlerraten wurden die Antworten der Probanden in zwei Gruppen unterteilt, nämlich erstens die korrekt beantworteten Trials („hits“) und zweitens die fehlerhaft beantworteten Trials, womit alle anderen Antwortmöglichkeiten erfasst wurden (falsche Taste, keine Antwort oder Antwort außerhalb des Antwortfensters). Diese Antwortkategorien wurden für die beiden Faktoren „präinduzierte Emotion“ und „kognitive Aufgabe“ betrachtet sowie für die sich daraus ergebenden acht Interaktionsbedingungen (Kongruenz, Inkongruenz, Baseline, Oddball jeweils nach neutraler und negativ-erregender Emotionsinduktion).

Aus den Bedingungen und den Antwortkategorien wurden Kreuztabellen mit erwarteten und beobachteten Häufigkeiten erstellt, welche mit einem Omnibus- $\chi^2$ -Test auf Signifikanz

überprüft wurden. Um signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Bedingungen herauszufinden, wurden Paarvergleiche durchgeführt, in welchen nur für jeweils zwei interessierende Bedingungen eine Kreuztabelle erstellt und ein  $\chi^2$ -Test berechnet wurde. Als Paarvergleiche interessierten dabei insbesondere die oben beschriebenen Kontraste IN-BA, KO-BA und OD-BA (vgl. [3.1.3.2.5](#)), jeweils nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion.

### **3.2.1.2 Auswertung von Reaktionszeitunterschieden**

Zur Auswertung der Reaktionszeiten wurden lediglich korrekt beantwortete Trials herangezogen. Zunächst wurden die Mittelwerte der Reaktionszeiten für die beiden Faktoren „kognitive Aufgabe“ und „präinduzierte Emotion“ sowie für die daraus resultierenden acht Interaktionsbedingungen berechnet. Um in einem Omnibus-Test zu prüfen, ob signifikante Reaktionszeitunterschiede vorliegen, wurde eine univariate Varianzanalyse berechnet mit den beiden oben angeführten Faktoren als feste unabhängige Faktoren und dem Faktor „Versuchsperson“ als unabhängigen Zufallsfaktor.

Zur Betrachtung von Reaktionszeitunterschieden zwischen einzelnen Bedingungen wurden die Reaktionszeiten probanden- und bedingungsweise aggregiert und die Fälle in Variablen umstrukturiert. Anschließend wurden t-Tests für gepaarte Stichproben berechnet. Diese Paarvergleiche wurden für alle interessierenden Kontraste berechnet (vgl. [3.2.1.1](#)). Zusätzlich wurde getestet, ob sich die Reaktionszeiteffekte in diesen Kontrasten signifikant für die beiden Affektbedingungen unterscheiden (Bildung der Differenzen und Berechnung von t-Test für gepaarte Stichproben).

## **3.2.2 Funktionell-hirnbildgebende Daten**

Die Vorverarbeitung und Auswertung des Bildmaterials erfolgte mit dem Softwarepaket SPM2 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>)

### **3.2.2.1 Vorverarbeitung**

Die Bilder wurden gespiegelt (das heißt aus radiologischer in neurologische Sichtweise umgewandelt) und auf die anatomischen T1-Bilder koregistriert, um die Gehirnaktivierungen auf anatomische Strukturen abzugleichen. Weiterhin wurden folgende Vorverarbeitungsschritte durchgeführt: Zum einen wurde eine Bewegungskorrektur

(Realignment) durchgeführt, um räumliche Differenzen zwischen den einzelnen Bildern, wie sie beispielsweise aus Kopfbewegungen resultieren, auszugleichen. Zum zweiten wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass die 17 Schichten eines EPI-Bildes nacheinander, also zeitlich versetzt aufgenommen wurden. Durch die „Slice-Time“-Korrektur wurden die Bilder für zeitliche Differenzen korrigiert. Weiterhin wurden die Bilder normalisiert: dazu wurden die individuellen EPI-Bilder der einzelnen Probanden auf ein Standardgehirn (Template des Montreal Neurological Institute „MNI“) abgeglichen, um statistische Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Schließlich wurden die Bilder mit einem Gauß'schen Filter von 12 mm geglättet.

### **3.2.2.2 Statistische Analysen**

#### **3.2.2.2.1 Erstellen der Kontraste**

Nach dem Prinzip der Subtraktionsmethode (vgl. [3.1.3.2.5](#)) wurden auf Einzelprobandenebene zunächst die folgenden Kontraste erstellt:

- (1) Erstens interessierten die Aktivierungen, welche aufgrund der Verarbeitung negativ-erregender IAPS-Bilder auftraten. Zur Darstellung dieser Aktivierungen wurde die Differenz gebildet zwischen den gewonnenen Bilddaten zum Zeitpunkt der Darbietung eines negativ-erregenden IAPS-Bilds vs. eines neutralen IAPS-Bilds.
- (2) Zweitens wurden die Aktivierungen für die Bedingungen IN, KO und OD berechnet. Dazu wurde jeweils die Differenz zu den Aktivierungen aus der Bedingung BA gebildet. Diese Kontraste wurden getrennt für beide Affektbedingungen erstellt. Durch eine Umkehrung der Differenzbildung konnten mit diesen Kontrasten auch Deaktivierungen der interessierenden kognitiven Bedingungen dargestellt werden.
- (3) Drittens wurden Interaktionskontraste gebildet, mit welchen signifikante Aktivierungsunterschiede zwischen jeweils zwei der oben genannten Kontraste dargestellt werden konnten. Auch die Interaktionskontraste wurden durch Differenzbildung berechnet, wobei hierbei die Differenz zwischen zwei Kontrasten gebildet wurde. Durch entsprechende Umkehr der Differenz konnten Aktivierungen dargestellt werden, welche in dem einen Kontrast oder aber dem anderen Kontrast stärker waren.

In Abb. 3.14 sind alle interessierenden Kontraste aufgeführt und erklärt.

Effekt	Bezeichnung	Bedeutung
<b>Affektinduktion</b>	IAPS_A-N	Hirnaktivierungen zum Zeitpunkt der IAPS-Darbietung / Verarbeitung negativ-erregender IAPS-Bilder
<b>Kongruenz</b>	(N)KO-BA	Hirnaktivität durch Kongruenz nach neutraler Affektinduktion
	(A)KO-BA	Hirnaktivität durch Kongruenz nach negativ-erregender Affektinduktion
	(int)KO-BA	Unterschiede des Kongruenzeffekts nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion
<b>Inkongruenz</b>	(N)IN-BA	Hirnaktivität durch Inkongruenz nach neutraler Affektinduktion
	(A)IN-BA	Hirnaktivität durch Inkongruenz nach negativ-erregender Affektinduktion
	(int)IN-BA	Unterschiede des Inkongruenzeffekts nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion
<b>Oddball</b>	(N)OD-BA	Hirnaktivität durch Oddballs nach neutraler Affektinduktion
	(A)OD-BA	Hirnaktivität durch Oddballs nach negativ-erregender Affektinduktion
	(int)OD-BA	Unterschiede des Oddballeffekts nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion

Abb. 3.14: Übersicht über alle interessierenden Kontraste und deren Bedeutung

### 3.2.2.2.2 Random-effects Analysen

Da Hirnaktivierungen der Kontraste über alle Probanden zusammen betrachtet werden sollten, wurden die Kontraste, welche zunächst auf Einzelprobandenebene berechnet wurden, in einem statistischen Modell („Random effects“) zusammen geführt. Dazu war es in einem ersten Schritt notwendig, die Probanden zu bestimmen, deren Kontraste in die Berechnung der random effects eingehen sollten.

#### 3.2.2.2.2.1 Auswahl der Probanden für die Random-effects Analysen

Da der Einfluss eines negativ-erregenden Affektzustands auf die neuronalen Mechanismen kognitiver Kontrolle untersucht werden sollte, wurde bei den einzelnen Probanden ein adäquates emotionsassoziiertes Aktivierungsmuster vorausgesetzt. Die Festsetzung dieses adäquaten Aktivierungsmusters erfolgte unter Rückgriff auf Ergebnisse anderer Studien (vgl. [2.2.2](#)). Das emotionale Aktivierungsmuster eines einzelnen Probanden sollte dabei insbesondere eine Beteiligung visueller Verarbeitungsareale sowie der Amygdala aufweisen (vgl. [2.4.2](#)). Zur Probandenauswahl in der vorliegenden Studie wurden daher zunächst die

Aktivierungen des Kontrasts IAPS\_A-N auf Einzelprobandenebene betrachtet. Es wurden diejenigen Probanden identifiziert, welche auf die negative Affektinduktion mit einem entsprechenden neuronalen Verarbeitungsmuster angesprochen haben und damit die Voraussetzung für die Untersuchung der Fragestellung erfüllten. Die Analyse dieser Aktivierungen ergab, dass 14 der 17 Probanden für eine weitere Auswertung geeignet waren.

#### **3.2.2.2.2.2 Berechnung der Random-effects**

Für jeden der in Abb. 3.14 angeführten Kontraste wurde ein Random-effect-Modell erstellt. Dazu wurden die entsprechenden Kontraste aller geeigneten Probanden ausgewählt und einer gemeinsamen statistischen Analyse unterzogen. Das Berechnungsverfahren entspricht einem t-Test für eine Stichprobe.

#### **3.2.2.2.2.3 Auswertung der Random-effects**

Zur Auswertung der Random-effects Kontraste wurden zwei unterschiedliche Validitätskriterien herangezogen:

1. Signifikanzniveau:

Sofern nicht anders vermerkt, wurden alle Kontraste bei einer unkorrigierten Schwelle von  $p < 0.005$  betrachtet, das heißt, die Wahrscheinlichkeit, dass ein signifikantes Voxel nur zufällig aktiv ist, beträgt weniger als 0.5 %. Lediglich zur Darstellung der Interaktionskontraste wurde eine Schwelle von  $p < 0.01$  gewählt, da diese Analysen richtungsweisend auch Areale darstellen sollten, die bei streng konservativem Vorgehen nicht signifikant werden würden.

2. Clustergröße:

Die Clustergröße bezeichnet die Anzahl der signifikant aktivierten Voxel in einem Hirnareal. Da die Wahrscheinlichkeit eines  $\alpha$ -Fehlers mit zunehmender Clustergröße sinkt, sollten nur aktivierte Cluster mit einer Mindestgröße von 10 Voxeln betrachtet werden. Ausnahmen von diesem Kriterium werden in der späteren Darstellung gesondert vermerkt.

Schließlich mussten die Ergebnisse entsprechenden anatomischen Arealen zugeordnet werden. Der Fokus einer signifikanten Aktivierung wurde von SPM2 als MNI-Koordinate angegeben. Mithilfe des MNI-Koordinatenraums wird die Lage einzelner Punkte im standardisierten Gehirn entlang der drei Raumachsen eindeutig festgelegt. Durch die Projektion dieser Koordinaten auf das Standardgehirn werden die signifikanten Aktivierungen



durch SPM2 visualisiert. Die Zuordnung dieser Aktivierungen zu entsprechenden Gehirnstrukturen erfolgte von Hand unter Zuhilfenahme eines neuroanatomischen Atlanten (Duvernoy, 1999).

*[Anmerkung: Alle Schritte der Datenauswertung wurden durch die Verfasserin dieser Arbeit vorgenommen.]*

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Verhaltensdaten

#### 4.1.1 Fehlerauswertung

Bei negativ-erregenden Trials wurden insgesamt mehr Fehler beobachtet als bei neutralen Trials. Im  $\chi^2$ -Test wurde dieser Unterschied jedoch nicht signifikant ( $p = 0.180$ , zweiseitig).

Bei den Stufen des Faktors „kognitive Aufgabe“ zeigte sich in den Bedingungen „Kongruenz“ und „Oddball“ eine niedrigere Fehlerrate als in der neutralen Bedingung. In der „Inkongruenz“-Bedingung hingegen wurden mehr Fehler begangen als in der neutralen Bedingung. Diese vier kognitiven Bedingungen unterschieden sich in einem  $\chi^2$ -Test hochsignifikant ( $p = 0.000$ , zweiseitig).

Betrachtet man die kognitiven Bedingungen getrennt für die beiden Affektbedingungen, so bleibt dieses Muster sowohl nach neutraler als auch nach negativ-erregender Affektinduktion in dem oben beschriebenen Sinne erhalten, wobei jedoch die Anzahl der Fehler in der Inkongruenz-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion deutlich höher ist als in der neutralen Affektbedingung. Der Omnibus- $\chi^2$ -Test ergibt einen hochsignifikanten Interaktionseffekt für die Fehlerhäufigkeiten ( $p = 0.000$ , zweiseitig). (Fehlerhäufigkeiten: s. Abb. 4.1)

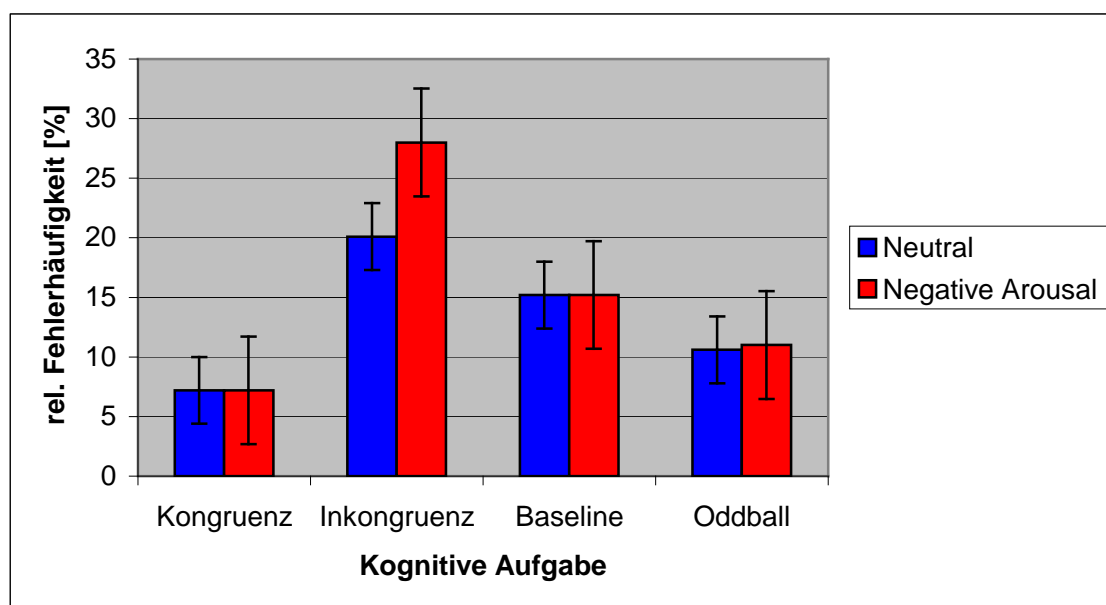


Abb. 4.1: Relative Fehlerhäufigkeiten und Standardfehler

Die  $\chi^2$ -Tests für einzelne Kontraste / Paarvergleiche zeigten folgende Ergebnisse: Sowohl nach neutraler als auch nach negativ-erregender Affektinduktion wurden bei kongruenten Trials hochsignifikant weniger Fehler begangen als bei Baseline-Trials. Dieser Kongruenz-Effekt ist in beiden Affektbedingungen gleich (jeweils  $p = 0.006$ , zweiseitig).

In der Inkongruenz-Bedingung wurden sowohl nach neutraler als auch nach negativ-erregender Affektinduktion mehr Fehler begangen als in der Baseline-Bedingung. In der neutralen Affektbedingung besteht dieser Inkongruenzeffekt nur tendenziell ( $p = 0.172$ ), nach negativ-erregender Affektinduktion ist der Effekt hochsignifikant ( $p = 0.001$ , zweiseitig). Der Inkongruenz-Effekt in der negativ-erregenden Affektbedingung ist demnach deutlich ausgeprägter als nach neutraler Affektinduktion und unterscheidet sich bei einseitiger Testung („Nach Arousal werden mehr Fehler begangen“) signifikant von diesem ( $p = 0.028$ , einseitig).

Der Vergleich der Oddball- mit der Baseline-Bedingung ergab für beide Affektbedingungen eine geringere Fehlerhäufigkeit bei Oddball-Trials. Diese Kontraste wurden nicht signifikant, und auch der Vergleich zwischen den Kontrasten erbrachte keinen signifikanten Unterschied. (Darstellung aller Kontraste s. Abb. 4.2)

*[Anmerkung: Es wurden relative Häufigkeiten miteinander verglichen, so dass die geringere Basishäufigkeit von Oddball-Trials nicht in die Tests einging.]*

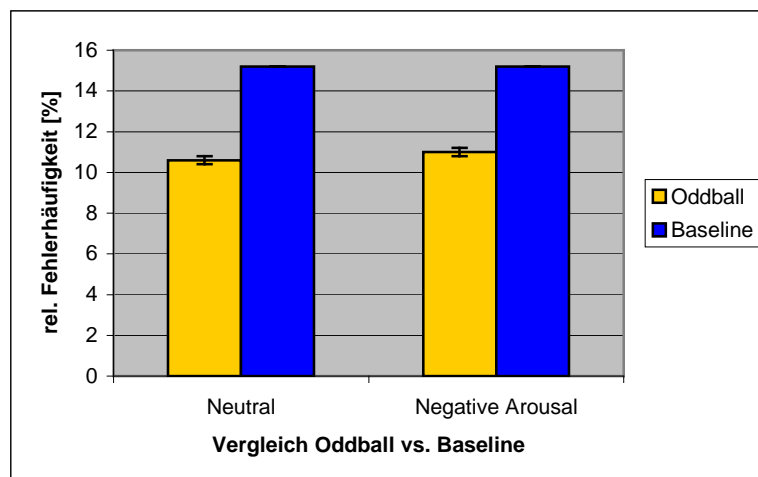
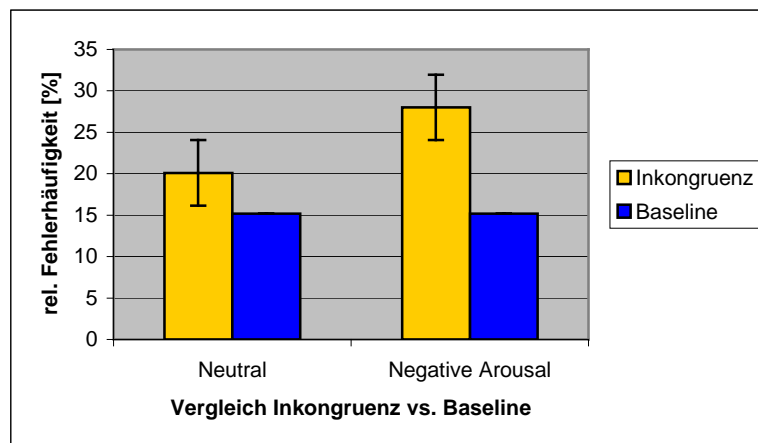
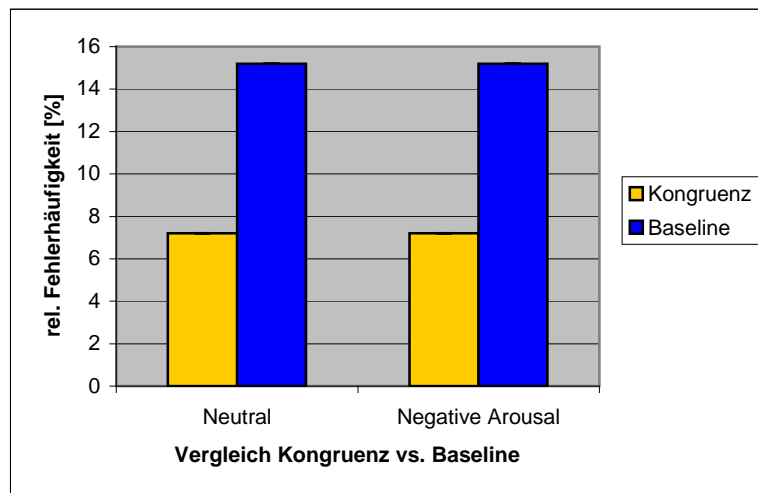


Abb. 4.2: Darstellung von Kongruenz-, Inkongruenz- und Oddball-Effekt.  
(Fehlerraten und Standardfehler)

### 4.1.2 Auswertung von Reaktionszeitunterschieden

Für den Faktor „präinduzierte Emotion“ ergaben sich keine Reaktionszeitunterschiede zwischen den beiden Bedingungen: nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion war die benötigte Zeit zur Beantwortung der kognitiven Aufgabe im Mittel gleich lang (s. Abb. 4.3).

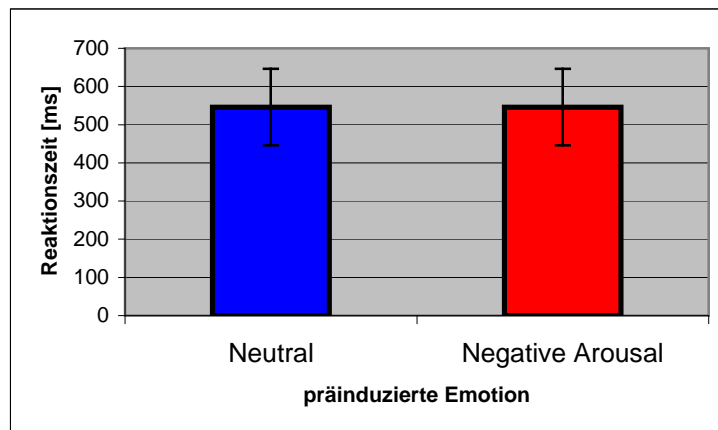


Abb. 4.3: Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion

Für die vier kognitiven Bedingungen ergaben sich gemittelt über die emotionalen Bedingungen folgende Reaktionszeitunterschiede: Kongruente Trials wurden im Mittel schneller beantwortet als Baseline-Trials, inkongruente und Oddball-Trials hingegen zeigten längere mittlere Reaktionszeiten als Baseline-Trials, wobei dieser Unterschied für die Inkongruenz-Bedingung ausgeprägter war (s. Abb. 4.4).

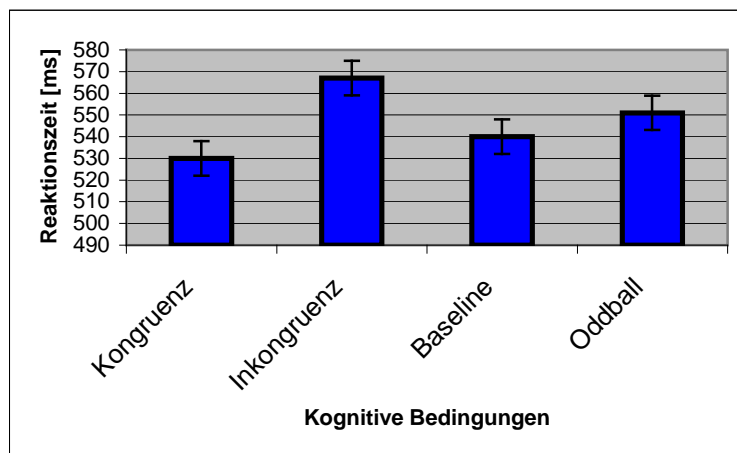


Abb. 4.4: Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler in den vier kognitiven Bedingungen

Betrachtet man die Unterschiede zwischen den kognitiven Bedingungen getrennt nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion, so zeigt sich das oben beschriebene Muster in beiden Affektstufen, wobei die Effekte nach negativ-erregender Affektinduktion tendenziell stärker ausfallen. Im Vergleich zur Baseline-Bedingung führt Kongruenz zu einer stärkeren mittleren Reaktionszeitverkürzung und Inkongruenz zu einer stärkeren Reaktionszeitverlängerung. Das Verhältnis zwischen Oddball und Baseline hingegen ändert sich kaum nach negativ-erregender Affektinduktion, allerdings sind in beiden Bedingungen die mittleren Reaktionszeiten etwas kürzer als nach neutraler Affektinduktion (s. Abb. 4.5).

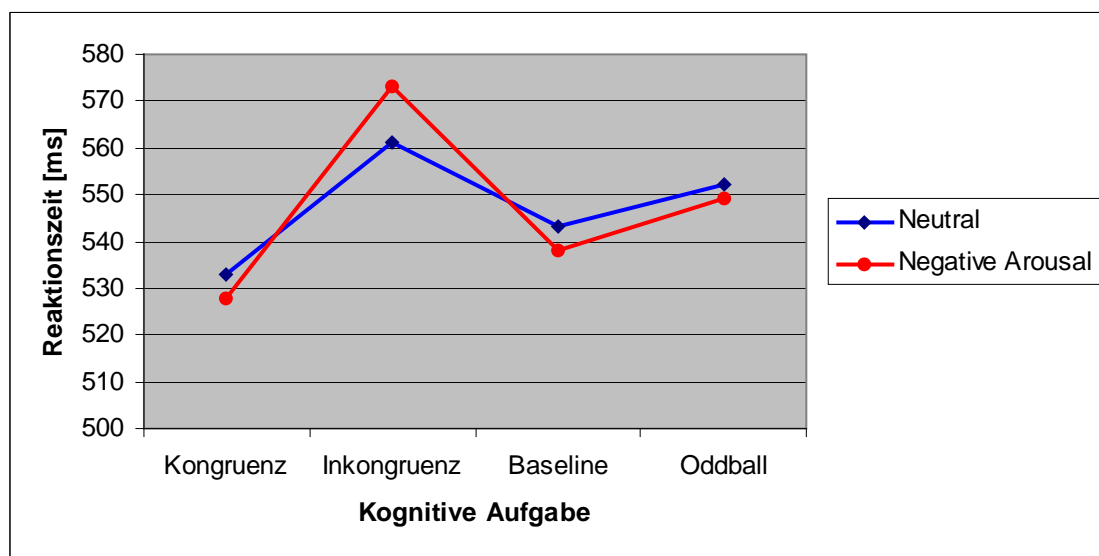


Abb. 4.5: Mittlere Reaktionszeiten in den vier kognitiven Bedingungen, getrennt für die Emotionsbedingungen „Neutral“ und „Negative Arousal“

Der Omnibus-Signifikanz-Test (ANOVA) zeigte einen hochsignifikanten Effekt für den Hauptfaktor „kognitive Aufgabe“: Bei einer Signifikanz von  $p < 0.001$  kann man annehmen, dass sich die kognitiven Bedingungen hochsignifikant in ihren Reaktionszeiten unterscheiden. Der Hauptfaktor „präinduzierte Emotion“ dagegen wurde nicht signifikant ( $p = 0.711$ ), die mittleren Reaktionszeiten beider Affektbedingungen unterscheiden sich nicht. Ein Interaktionseffekt dieser beiden Hauptfaktoren ist tendenziell vorhanden im Sinne stärkerer Reaktionszeitunterschiede in den vier kognitiven Bedingungen nach negativ-erregender Affektinduktion, dieser Effekt war allerdings in der ANOVA lediglich marginal signifikant ( $p = 0.088$ ).

Die Analyse der Kontraste / Einzelvergleiche erbrachte folgende Ergebnisse (da gerichtete Hypothesen vorliegen, werden die einseitigen Signifikanzwerte betrachtet):

Der Vergleich der Kongruenz-Bedingung mit der Baseline-Bedingung zeigte nach neutraler Affektinduktion einen signifikanten ( $p = 0.018$ ) und nach „Negative Arousal“ einen hochsignifikanten ( $p = 0.005$ ) Unterschied. Der Kongruenzeffekt nach negativ-erregender Affektinduktion ist tendenziell stärker als nach neutraler Affektinduktion ( $p = 0.192$ ).

Die Reaktionszeitverlängerungen in der Inkongruenz-Bedingung im Vergleich zur Baseline-Bedingung waren sowohl nach neutraler als auch nach negativ-erregender Affektinduktion hochsignifikant ( $p = 0.005$ ,  $p = 0.000$ , resp.). Dieser Inkongruenzeffekt ist nach „Negative Arousal“ signifikant größer ( $p = 0.028$ ).

Der Paarvergleich zwischen Oddball- und Baseline-Bedingung ergab Oddball-Effekte in beiden Affektbedingungen: Nach neutraler Affektinduktion zeigen Oddball-Trials eine signifikante ( $p = 0.033$ ) und nach „Negative Arousal“ hochsignifikante ( $p = 0.004$ ) Reaktionszeitverlängerungen. Tendenziell ist der Oddball-Effekt nach „Negative Arousal“ stärker ( $p = 0.310$ ). (Darstellung aller Kontraste in Abb. 4.6)

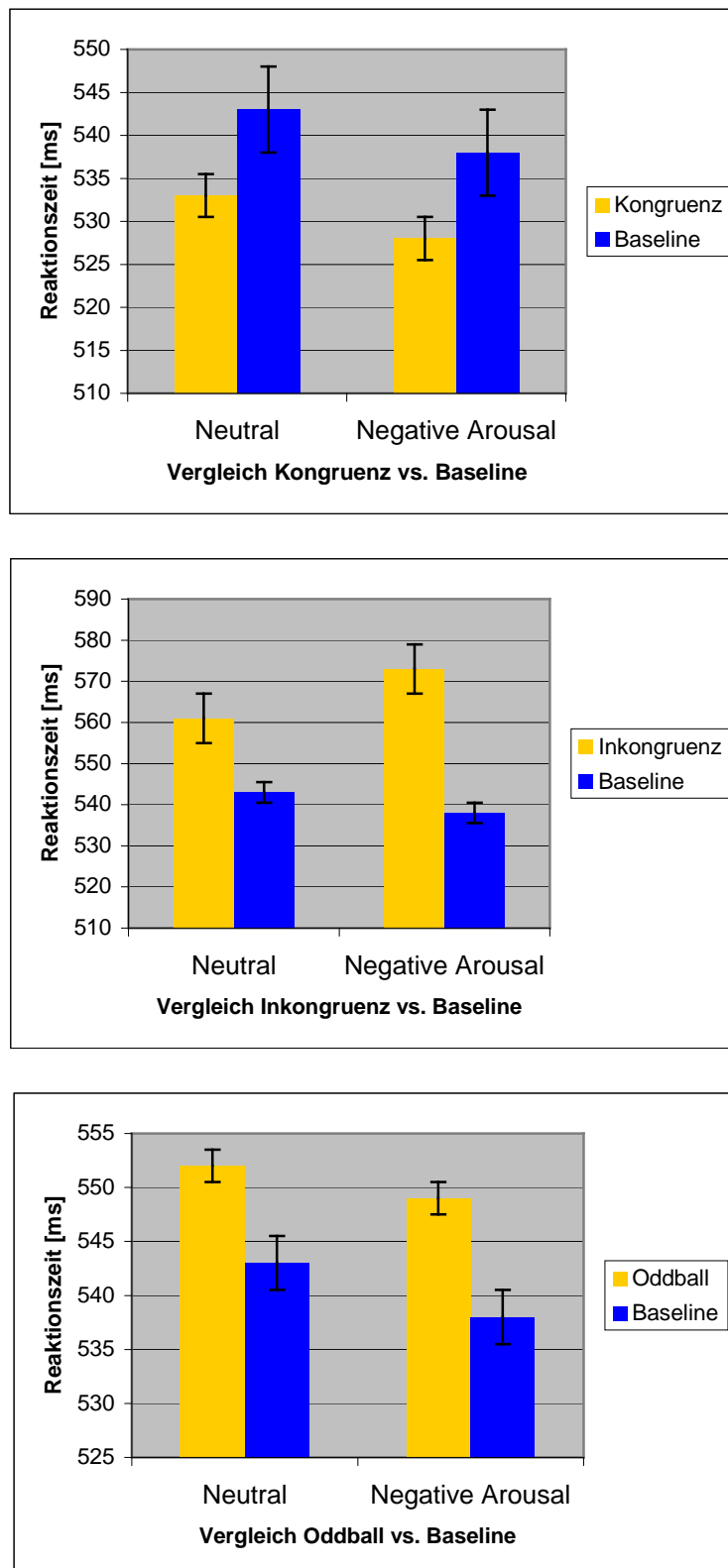


Abb. 4.6: Darstellung von Kongruenz-, Inkongruenz- und Oddball-Effekt (mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler)



## 4.2 Funktionell-hirnbildgebende Daten

### 4.2.1 Hirnaktivierungen in Reaktion auf negativ-erregende IAPS-Bilder

Im Vergleich mit neutralen IAPS-Bildern führte die Darbietung der negativ-erregenden IAPS-Bilder insgesamt zu sehr starken und ausgeprägten Aktivierungen, die allesamt ein Signifikanzniveau von 0.05 überschritten. Allgemein ist bemerkenswert, dass in der rechten und der linken Hemisphäre jeweils ähnliche Aktivierungen im Sinne eines symmetrischen Musters vorkamen, wobei bei der überwiegenden Anzahl der Aktivierungen eine Präferenz für die rechte Hirnhälfte zu vermerken ist, das heißt größere Cluster und / oder stärkere Foki.

Im einzelnen waren folgende Areale aktiv: Im Bereich des Okzipitallappens fanden sich beidseits starke Aktivierungen, die sich zum einen dorsal in den Parietallappen ausdehnten, und zum anderen ventral in den Temporallappen. Die in diesen Arealen stärksten Foki befinden sich im temporo-okzipitalen Kortex, im intraparietalen Kortex und entlang des intraparietalen Sulcus (IPS) sowie in posterioren okzipitalen Kortexarealen. Weitere Aktivierungen fanden sich in weiter anterior gelegenen Hirnlappen, nämlich im Temporallappen mit Foci im Kortex entlang des superioren temporalen Sulcus, sowie im Frontallappen mit Foci im orbitofrontalen und im frontopolaren Bereich, wobei sich alle Foci in beiden Hemisphären wiederfinden. *(Anmerkung: Der Fokus im rechten frontopolaren Kortex ist zwar signifikant, jedoch nur zwei Voxel groß. Da seine Lage aber gut mit der des kontralateralen Fokus übereinstimmt, ist er der Vollständigkeit halber in der Übersicht aufgeführt.)*

Im Bereich des Kortex entlang des Sulcus centralis befinden sich beidseits Aktivierungen, wobei die Aktivierung in der rechten Hemisphäre auf den Gyrus postcentralis beschränkt ist, während sie in der linken Hirnhälfte den postzentralen und den präzentralen Gyrus umfasst. Im medial gelegenen Kortexbereich findet sich rechtsseitig eine Aktivierung im posterioren cingulären Kortex. Weiterhin finden sich extrakortikale Aktivierungen in folgenden Kerngebieten: Die Amygdala beider Hemisphären mit einer Präferenz für die rechte, sowie im Bereich der Vierhügelplatte die superioren Colliculi. In beiden Kleinhirnhemisphären finden sich außerdem Aktivierungen im Bereich des Tentorium cerebelli. In Abbildung 4.7 sind oben beschriebene Aktivierungen als Projektion auf das MNI-Standardgehirn dargestellt. Signifikanten Foki sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

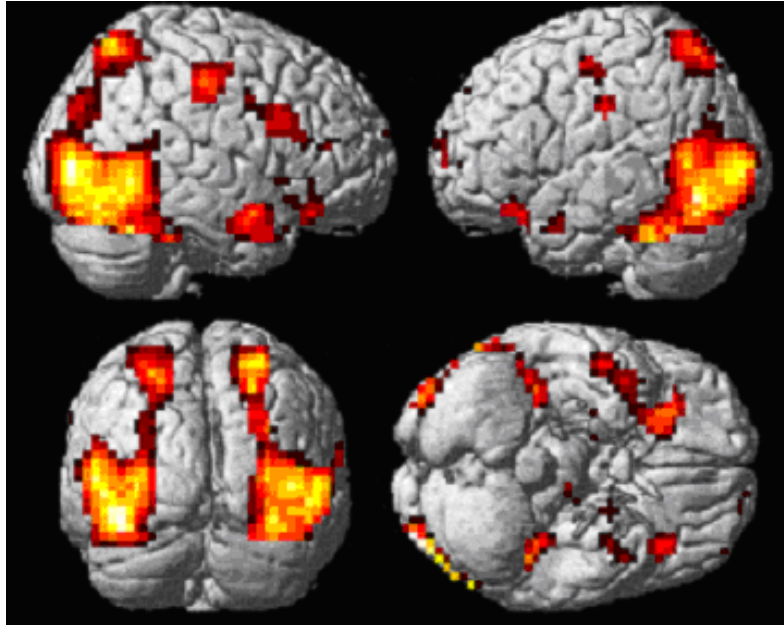


Abb. 4.7: Signifikante Aktivierungen durch negativ-erregende IAPS-Bilder / Kontrast: IAPS\_A>N ( $p < 0.005$ ). Dargestellt sind die Seitenansicht der rechten und linken Hemisphäre, die Ansicht von hinten sowie von unten (resp.).

Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)
R Amygdala und anschließender Kortex	6.26 (24 -4 -12)***
L Amygdala und anschließender Kortex	4.12 (-20 0 -28)***
R Sulcus temporalis superior / Temporalpol	6.79 (52 8 -20)***
L Sulcus temporalis superior / Temporalpol	4.12 (-36 0 -24)***
R orbitofrontaler Kortex	5.45 (28 28 -20)***
L orbitofrontaler Kortex	4.23 (-36 28 -20)***
L Frontalpol	4.33 (-12 68 16)***
R Frontalpol	[3.16 (8 68 20)**] k=2
L PCC (posteriorer cingulärer Kortex)	3.88 (-12 -20 48)***
R Gyrus postcentralis	6.61 (48 -20 40)***
L Gyrus präcentralis / postcentralis	5.96 (-36 -12 48)***
	3.62 (-36 -20 48)**
R temporo-okzipitaler Kortex	7.64 (52 -52 -4)***
L temporo-okzipitaler Kortex	6.47 (-52 -64 8)***
R IPS / intraparietaler Kortex	9.93 (28 -60 48)***
L IPS / intraparietaler Kortex	5.46 (-20 -72 52)***
R posteriorer okzipitaler Kortex / extrastriater visueller Kortex	8.87 (32 -84 4)***
L posteriorer okzipitaler Kortex / extrastriater visueller Kortex	8.91 (-32 -96 0)***
L Cerebellum	11.72 (-40 -44 -32)***
R Cerebellum	8.21 (32 -56 -28)***
Colliculi superior	4.13 (4 -28 0)***

Tab. 4.1: Hirnaktivierungen bei der Darbietung negativ-erregender IAPS-Bilder / Kontrast: IAPS\_A>N. (\*\*\*)  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.005$ . k bezeichnet die Clustergröße (wenn nicht anders vermerkt:  $k > 10$ ). [L = linke-, R = rechte Hemisphäre]

## 4.2.2 Aktivierungen in der Inkongruenz-Bedingung

### 4.2.2.1 Aktivierungen in der Inkongruenz-Bedingung nach neutraler Affektinduktion

Nach neutraler Affektinduktion führten inkongruente Stimuli nur zu wenig signifikanten Aktivierungen bei einer Schwelle von  $p < 0.005$ . Hervorzuheben ist eine Aktivierung des IFJ-Areals der linken Hemisphäre. Weiterhin gab es kleinere Foki im posterioren okzipitalen Kortex, wobei die Aktivierung in der linken Hemisphäre zwar signifikant, aber nur zwei Voxel groß war, und die Aktivierung der rechten Hemisphäre knapp das Signifikanzniveau von  $p = 0.005$  verfehlte. Die Aktivierungen sind in der Abbildung 4.8 sowie in der Tabelle 4.2 dargestellt.

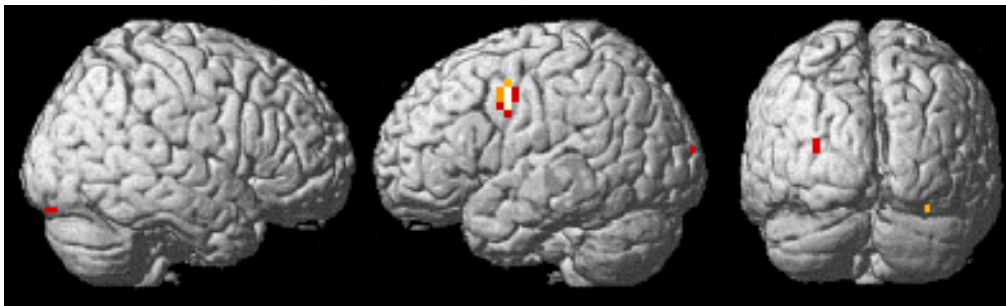
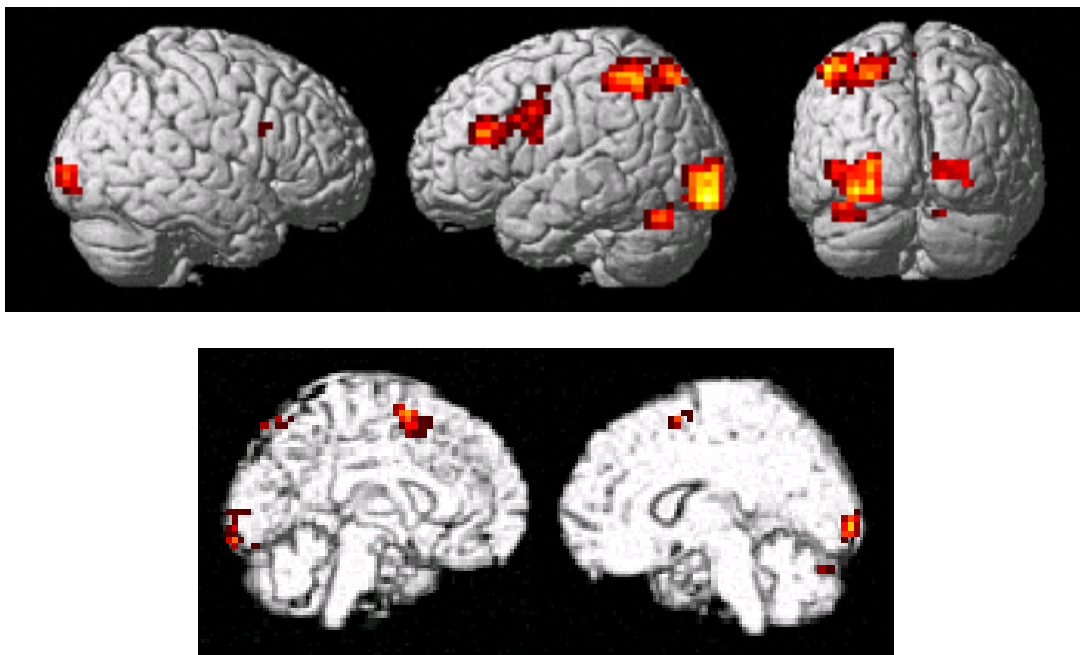


Abb. 4.8: Signifikante Aktivierungen bei inkongruenten Trials nach neutraler Affektinduktion / Kontrast (N)IN>BA ( $p < 0.005$ ). Dargestellt sind die Seitenansicht der rechten und linken Hemisphäre sowie die Ansicht von hinten (resp.).

### 4.2.2.2 Aktivierungen in der Inkongruenz-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion

Nach negativ-erregender Affektinduktion zeigten inkongruente Stimuli bei der Schwelle von  $p < 0.005$  zahlreiche Aktivierungen, von denen die meisten in der linken Hemisphäre lokalisiert waren. Die stärkste und ausgedehnteste Aktivierung befand sich im Bereich des linken IFJ-Areals. Das aktivierte Gebiet umfasste den inferioren Anteil des präzentralen Gyrus und dehnte sich aus entlang des inferior frontalen Sulcus sowie entlang des mittleren frontalen Gyrus. Auch im Bereich des rechten IFJ-Areals befand sich eine signifikante Aktivierung. Obwohl sie mit fünf Voxeln deutlich kleiner war, wird sie zur Übersicht hier angeführt. Weitere starke Aktivierungen befanden sich im posterioren okzipitalen Kortex

beider Hemisphären. Im linken Parietallappen war ein ausgedehntes Kortexareal aktiviert, welches Teile des Kortex entlang des intraparietalen Sulcus (IPS) sowie angrenzende Kortexareale umfasste. Die mediale Kortexansicht zeigte eine Aktivierungen im Bereich des posterioren frontomedianen Kortex, deren Fokus in der linken Hemisphäre lag, aber auch im Bereich der rechten Hemisphäre ausgedehnt war. Diese Aktivierung umfasste mehrere funktionelle Areale: zum einen kann es der prä-SMA (prä-supplementär-motorisches Areal) zugerechnet werden, zum anderen liegt es im posterioren Anteil der rostralen cingulären Zone (rCZp) oder im posterioren Anteil des anterioren cingulären Kortex (ACC). Im Bereich der linken Kleinhirnhemisphäre war schließlich eine Aktivierung in Angrenzung an das Tentorium Cerebelli lokalisiert. Eine detaillierte Darstellung der aktivierten Areale findet sich in Abbildung 4.9 und in Tabelle 4.2.



*Abb. 4.9: Signifikante Aktivierungen bei inkongruenten Trials nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (A)IN>BA ( $p = 0.005$ ). In der oberen Abbildung sind die Seitenansichten der rechten und linken Hemisphäre sowie die Ansicht von hinten dargestellt (resp.). Die untere Abbildung zeigt die mediale Schnittfläche beider Hemisphären.*

Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)	
	(N)IN>BA	(A)IN>BA
<b>Gemeinsame Aktivierungen beider Affektbedingungen</b>		
L posteriorer okzipitaler Kortex / extrastriater visueller Kortex	[3.27 (-28 -100 16**) k=2]	6.10 (-24 -96 -8)***
R posteriorer okzipitaler Kortex / extrastriater visueller Kortex	[2.77 (40 -92 0)*]	4.92 (28 -96 0)***
L IFJA / Gyrus präzentralis	3.71 (-44 0 40)**	6.29 (-36 4 28)***
<b>Areale, die nur nach negativ-erregender Affektinduktion aktiviert waren</b>		
L Sulcus frontalis inferior	n.s.	4.22 (-36 24 20)***
L Gyrus frontalis medius	n.s.	3.49 (-52 32 28)**
L intraparietaler Kortex / IPS	n.s.	4.95 (-20 -76 56)***
		4.19 (-44 -40 56)***
L posteriorer frontomedianer Kortex (preSMA, rCZp, ACC)	n.s.	5.16 (-8 4 56)***
L Cerebellum	n.s.	4.30 (-40 -68 -28)***
R IFJA	n.s.	[3.25 (40 12 24)**] k=5

Tab. 4.2: Hirnaktivierungen bei der Darbietung inkongruenter Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion (\*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.005$ , \*  $p < 0.1$ , n.s. = nicht signifikant,  $k$  = Clustergröße)

### 4.2.2.3 Interaktion: Unterschiede der Aktivierungsmuster inkongruenter Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion

#### 4.2.2.3.1 Deskriptive Unterschiede

Der Vergleich der Aktivierungsmuster inkongruenter Stimuli nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion zeigte einige wesentliche Unterschiede auf. Erstens zeigten inkongruente Stimuli nach neutraler Affektinduktion nur wenige signifikante Aktivierungen, wohingegen inkongruente Stimuli nach negativ-erregender Affektinduktion eine deutlich größere Anzahl signifikant aktivierter Hirnareale ergaben. Dabei waren nach negativ-erregender Affektinduktion alle Areale, in denen nach neutraler Affektinduktion Aktivierungen signifikant waren, ebenfalls aktiv. Darüber hinaus kam eine Reihe von Aktivierungen hinzu, die nach neutraler Affektinduktion nicht signifikant waren.

Zweitens zeigten sich deutliche Größenunterschiede der aktivierten Cluster zwischen den beiden Kontrasten: Während nach neutraler Affektinduktion die vorhandenen Aktivierungen auf engumschriebene kleine Cluster beschränkt waren, lagen nach negativ-erregender Affektinduktion deutlich ausgedehntere Aktivierungen vor. Dies ist in den visualisierten Darstellungen der beiden Kontraste in den Abbildungen 4.8 und 4.9 gut zu erkennen.

Drittens waren Areale, die sowohl nach neutraler als auch nach negativ-erregender Affektinduktion aktiviert waren, im letzteren Falle mit deutlich höheren t-Werten assoziiert.

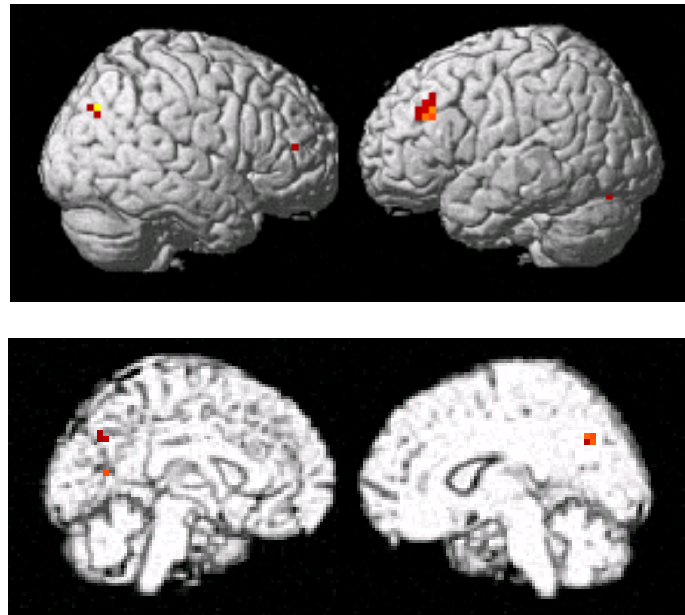
Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Darbietung inkongruenter Trials nach negativ-erregender Affektinduktion mit einer größeren Anzahl aktivierter Areale einherging, welche sowohl stärker als auch deutlich ausgedehnter waren als bei der Darbietung identischer Trials nach neutraler Affektinduktion.

#### **4.2.2.3.2 Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion**

Die Berechnung von Aktivierungen, die bei inkongruenten Stimuli nach negativ-erregender Affektinduktion signifikant größer waren als nach neutraler Affektinduktion, ergab auch bei weniger konservativem Vorgehen mit einer Schwelle von  $p < 0.01$  nur wenig signifikante Ergebnisse, die zudem alle unter der Mindestclustergröße von 10 Voxeln lagen. Dennoch sollen sie hier richtungsweisend dargestellt werden. Zum einen lag eine Aktivierungszunahme im mittleren frontalen Gyrus der linken Hemisphäre vor und stimmte gut überein mit dem Fokus einer Aktivierung aus dem Kontrast (A)IN>BA. Eine weitere Aktivierungszunahme befand sich im rechten Precuneus mit Ausdehnung auf den linken Precuneus. Eine entsprechende Aktivierung lag auch im Kontrast (A)IN>BA vor, wurde aber dort nicht signifikant. Die Aktivierungen sind in Tab. 4.3 sowie in Abb. 4.10 dargestellt.

Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)	
	(A)IN>BA	(int)A>N_IN-BA
L Gyrus frontalis medius	3.49 (-52 32 28)**	[3.41 (-52 28 32)**] k=6
R Precuneus	[1.90 (4 -68 32)] n.s.	[3.17 (8 -64 36)**] k=3

Tab. 4.3: Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (int)A>N\_IN>BA. Zum Vergleich sind auch entsprechende Aktivierungen des Kontrasts (A)IN>BA angegeben. (\*\*  $p < 0.005$ , n.s. = nicht signifikant, k = Clustergröße)



*Abb. 4.10: Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (int)A>N\_IN>BA ( $p < 0.01$ ). Dargestellt sind die Seitenansichten der rechten und linken Hemisphäre sowie die Medianansichten der linken und rechten Hemisphäre (resp.).*

#### **4.2.2.3.3 Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion**

Auch die Berechnung von Aktivierungen, welche bei inkongruenten Stimuli nach neutraler Affektinduktion signifikant größer waren als nach negativ-erregender Affektinduktion, ergab selbst bei einer abgesenkten Schwelle von  $p < 0.01$  nur wenige und schwache signifikante Ergebnisse. Es waren lediglich zwei signifikante Aktivierungsunterschiede zu verzeichnen: Zum einen in einem kleinen Areal entlang des superioren temporalen Sulcus der rechten Hemisphäre; und zum anderen ein Fokus in der rechten Amygdala. Für keins der beiden Areale konnte eine entsprechende Aktivierung nach neutraler Affektinduktion (im Kontrast (N)IN>BA) gefunden werden. Stattdessen konnten nach negativ-erregender Affektinduktion Deaktivierungen (im Kontrast (A)IN>BA) der genannten Areale nachgewiesen werden. Die beschriebenen signifikanten Aktivierungsunterschiede, welche sich in diesem Interaktionskontrast fanden, sind somit auf Deaktivierungsprozesse nach negativ-erregender Affektinduktion zurückzuführen: Ging einem inkongruenten Trial ein negativ-erregendes IAPS-Bild voraus, so war während der Bearbeitung der Aufgabe eine signifikante Abnahme der Aktivität in der rechten Amygdala und entlang des Sulcus temporalis superior im Vergleich zu inkongruenten Trials nach neutraler Affektinduktion zu sehen. In Tab. 4.4 sind

die signifikanten Aktivierungsunterschiede des Interaktionskontrast den Deaktivierungen durch inkongruente Stimuli nach negativ-erregender Affektinduktion gegenübergestellt, in Abb. 4.11 sind die Aktivierungen auf das MNI-Standardgehirn projiziert.

Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)	
	(int)A<N_IN>BA	Deaktivierung in (A)IN>BA
R Sulcus temporalis superior	[3.76 (56 -4 -16)**] k=4	[3.83 (56 -4 -16)**] k=7
R Amygdala	[3.08 (12 -4 -20)**] k=1	3.49 (12 -8 -20)**

Tab. 4.4: Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (int)A<N\_IN>BA. Zum Vergleich sind auch entsprechende Deaktivierungen des Kontrasts (A)IN>BA angegeben. (\*\*  $p < 0.005$ ,  $k$  = Clustergröße)

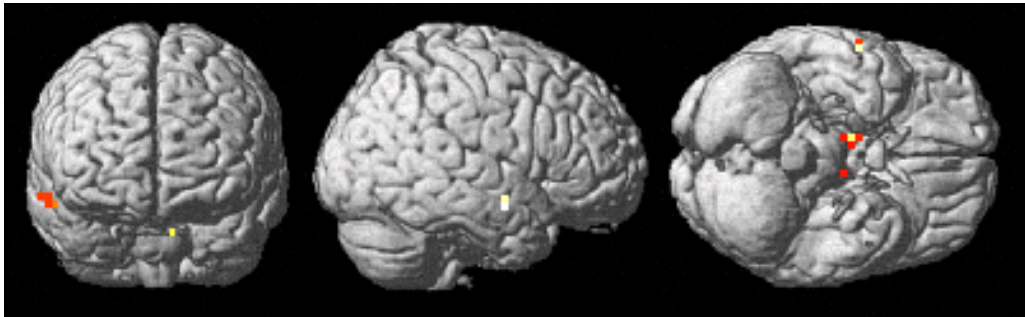


Abb. 4.11: Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (int)A<N\_IN>BA ( $p = 0.01$ ). Dargestellt sind die Ansicht von vorne, die rechte Seitenansicht sowie die Ansicht von unten (resp.).

## 4.2.3 Aktivierungen in der Oddball-Bedingung

### 4.2.3.1 Aktivierungen in der Oddball-Bedingung nach neutraler Affektinduktion

In der Oddball-Bedingung nach neutraler Affektinduktion zeigten sich bei einer Schwelle von  $p < 0.005$  nur wenige Aktivierungen, die relativ schwach waren und aus wenigen Voxeln bestanden. Auch wenn die Clustergröße nicht bei allen Aktivierungen 10 Voxel überschritt (s. Tab. 4.5), so sollen an dieser Stelle zur Übersicht doch auch die kleineren Aktivierungen dargestellt werden. Im einzelnen handelt es sich um aktivierte Areale im Bereich des posterioren okzipitalen Kortex sowie in temporo-okzipitalen Kortexarealen beider Hemisphären. Eine kleine Aktivierung von zwei Voxeln befand sich darüber hinaus im Bereich des inferioren Anteils des linken präzentralen Gyrus. Strenggenommen erfüllte diese



Aktivierung nicht die Definitionskriterien für das IFJ-Areal, denen zufolge die x-Koordinate einen Betrag kleiner / gleich 47 annehmen sollte, die y-Koordinate zwischen  $-1$  und  $10$  und die z-Koordinate zwischen  $27$  und  $40$  liegen sollte (Derrfuss et al., 2005). Der vorliegende Fokus ist demnach etwas zu weit posterior gelegen, dennoch nehmen wir an, dass die Aktivierungen dem IFJA zuzuordnen ist. Die Aktivierungen sind in Abb. 4.12 dargestellt, Signifikanzen und Koordinaten in Tab. 4.5 aufgeführt.

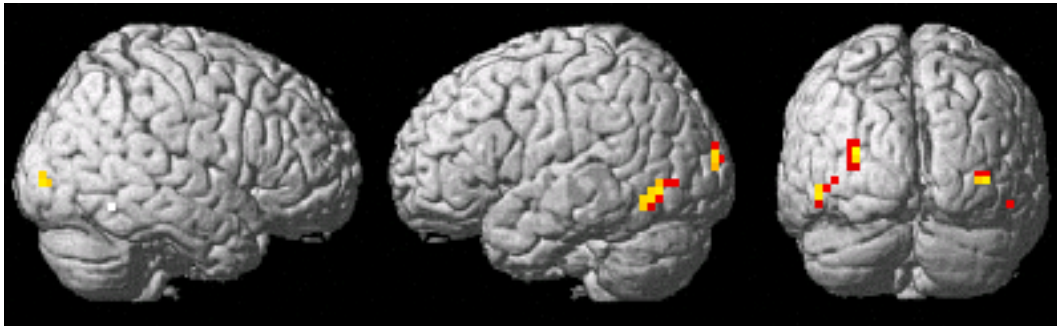


Abb. 4.12: Signifikante Aktivierungen bei Oddball-Trials nach neutraler Affektinduktion / Kontrast (N)OD>BA ( $p = 0.005$ ). Dargestellt sind die Seitenansichten der rechten und linken Hemisphäre sowie die Ansicht von hinten (resp.).

#### 4.2.3.2 Aktivierungen in der Oddball-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion

In der Oddball-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion zeigten sich bei einer Schwelle von  $p < 0.005$  einige signifikante Aktivierungen: In beiden Hemisphären waren Areale im posterioren okzipitalen Kortex aktiviert, die sich nach rostral ausbreiteten und in Aktivierungen des temporo-okzipitalen Übergangsbereichs einfließen. Im Bereich des inferioren präzentralen Gyrus und des posterioren Sulcus frontalis inferior befand sich in der linken Hemisphäre eine Aktivierung im IFJ-Areal. Eine weitere Aktivierung war im temporo-parietalen Übergang angesiedelt und wurde dem TPJ-Areal zugerechnet. Schließlich war an der ventralen Oberfläche des Okzipitallappens in beiden Hemisphären eine Aktivierung zu finden, welche Teile der Gyri fusiformes und der Gyri linguales beinhaltete. Die Aktivierungen sind in Abb. 4.13 dargestellt, Angaben zu den Koordinaten und Signifikanzwerten finden sich in Tab. 4.5.

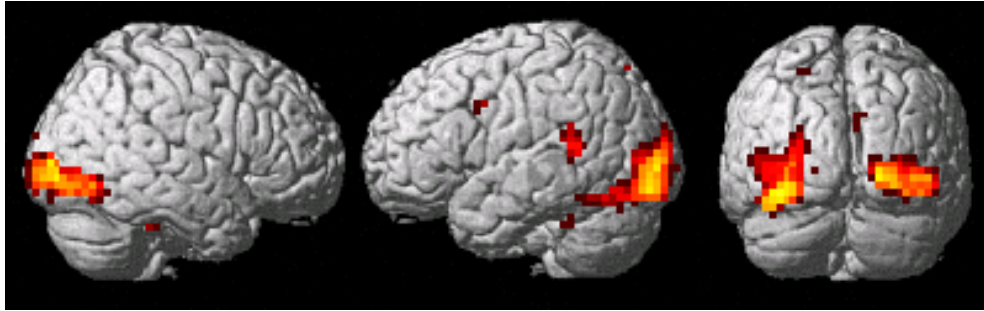


Abb. 4.13: Signifikante Aktivierungen bei Oddball-Trials nach negativ-erregender Affektinduktion /Kontrast (A)OD>BA ( $p = 0.005$ ). Dargestellt sind die Seitenansichten der rechten und linken Hemisphäre sowie die Ansicht von hinten (resp.).

Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)	
	(N)OD>BA	(A)OD>BA
<b>Gemeinsame Aktivierungen beider Affektbedingungen</b>		
L posteriorer okzipitaler Kortex / extrastriater visueller Kortex	3.73 (-28 -100 16)**	5.58 (-32 -96 -4)***
R posteriorer okzipitaler Kortex / extrastriater visueller Kortex	[3.53 (40 -92 0)**] k=6	6.16 (24 -100 -4)***
L temporookzipitaler Kortex	3.54 (-48 -68 -4)**	4.52 (-48 -84 8)***
R temporookzipitaler Kortex	[3.44 (48 -56 -12)**] k=3	4.27 (52 -76 -4)***
L IFJA	[3.30 (-36 -8 28)**] k=2	3.93 (-32 4 32)***
<b>Areale, die nur nach negativ-erregender Affektinduktion aktiviert waren</b>		
L TPJ / Gyrus temporalis superior (posterior)	n.s.	4.93 (-48 -44 16)***
R Gyrus fusiformis / lingualis	n.s.	3.10 (28 -68 -4)**
L Gyrus fusiformis / lingualis	n.s.	3.51 (-28 -72 -4)**

Tab. 4.5: Hirnaktivierungen bei der Darbietung von Oddball- Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion (\*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.005$ , n.s. = nicht signifikant, k = Clustergröße)

### 4.2.3.3 Interaktion: Unterschiede der Aktivierungsmuster von Oddball-Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion

#### 4.2.3.3.1 Deskriptive Unterschiede

Beim Vergleich der Aktivierungsmuster für Oddball-Trials nach neutralen und nach negativ-erregenden IAPS-Bildern fällt auf, dass nach negativ-erregender Affektinduktion eine höhere Anzahl aktivierter Areale vorliegt. Dabei waren alle Areale, die in der neutralen Affektbedingung aktiv waren auch in der negativ-erregenden Affektbedingung signifikant. Zusätzlich jedoch waren unter letztere Bedingung noch weitere Aktivierungen zu finden.

Zweitens beinhaltet das Aktivierungsmuster von Oddball-Trials nach negativ-erregender Affektinduktion deutlich ausgedehntere Aktivierungen, was auch aus dem Vergleich der beiden Abbildungen 4.12 und 4.13 anschaulich hervorgeht. So wurde nach negativ-erregender Affektinduktion auch die Mindestclustergröße bei Arealen erreicht, welche nach neutraler Affektinduktion kleiner als 10 Voxeln waren.

Drittens fällt beim Vergleich der t-Werte von Aktivierungen, die entsprechende Areale in beiden Affektbedingungen betreffen, auf, dass nach negativ-erregender Affektinduktion deutlich höhere Werte zu finden waren.

Schließlich lässt sich zusammenfassen, dass die Darbietung von Oddball-Trials nach neutralen IAPS-Bildern zu wenigen kleinen und schwachen Aktivierungen führte, wohingegen im Vergleich dazu die Darbietung der gleichen Trials nach negativ-erregender Affektinduktion zu mehr signifikanten Aktivierungen führte, welche sowohl stärker als auch ausgedehnter waren. Eine Gegenüberstellung der Aktivierungen beider Kontraste findet sich in Tab. 4.5.

#### 4.2.3.3.2 *Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion*

Bei den Oddball-Trials gab es nur wenig Aktivierungen, die nach negativ-erregender Affektinduktion signifikant stärker waren als nach neutraler Affektinduktion. Es lag lediglich ein Aktivierungsunterschied im Bereich der ventralen Kortexoberfläche des linken Okzipitallappens vor, welcher bei einer abgesenkten Schwelle von  $p < 0.01$  signifikant wurde. Da eine ähnlich lokalisierte Aktivierung auch bei Oddball-Trials nach negativ-erregender Affektinduktion zu finden war, geht dieser Interaktionseffekt auf eine stärkere Aktivierung nach negativ-erregender Affektinduktion zurück. (s. Tab. 4.6)

Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)	
	(A)OD>BA	(int)A>N OD>BA
L Gyrus fusiformis / Lingua	3.51 (-28 -72 -4)**	[2.83 (-24 -60 0)*]

Tab. 4.6: Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (int)A>N\_OD>BA. Zum Vergleich sind auch entsprechende Aktivierungen des Kontrasts (A)OD>BA angegeben.  
(\*\*  $p < 0.005$ , \*  $p < 0.01$ ,  $k$  = Clustergröße)

#### **4.2.3.3 Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion**

Bei einer abgesenkten Schwelle von  $p < 0.01$  gab es keine Oddball-Aktivierungen, die nach neutraler Affektinduktion signifikant stärker waren als nach negativ-erregender Affektinduktion.

### **4.2.4 Aktivierungen in der Kongruenz-Bedingung**

#### **4.2.4.1 Aktivierungen in der Kongruenz-Bedingung nach neutraler Affektinduktion**

In der Kongruenz-Bedingung nach neutraler Affektinduktion zeigten sich bei einer Schwelle von  $p < 0.005$  mehrere über alle Hirnlappen und beide Hemisphären verteilte signifikante Aktivierungen. Am stärksten war eine Aktivierung im rechten posterioren Temporallappen, deren Fokus im superioren temporalen Sulcus gelegen war, wobei sich die Aktivierung auch auf die angrenzenden temporalen Kortexareale ausdehnte. Auch im linken posterioren Temporallappen befand sich eine Aktivierung mit ihrem Fokus im mittleren temporalen Gyrus. Dorsal dieser Aktivierung fand sich ein weiteres aktiviertes Areal, welches bereits im temporo-parietalen Übergangsbereich lokalisiert war und das horizontale posteriore Segment des superioren temporalen Sulcus beinhaltete. Im superioren posterioren Teil des rechten Okzipitallappens war eine Aktivierung gelegen, welche einen lateralen Kortexbereich sowie einen medialen im Bereich des Cuneus umfasste. Eine weitere Aktivierung befand sich im linken Frontallappen und war im Bereich des ventralen inferioren frontalen Gyrus lokalisiert. In der medialen Ansicht war weiterhin eine Aktivierung im posterioren cingulären Kortexareal der linken Hemisphäre zu finden, welche relativ weit rostral gelegen war. Weitere Aktivierungen befanden sich in extrakortikalen Kerngebieten, und zwar im linken Putamen sowie im linken Thalamus. Alle Aktivierungen sind in Abb. 4.14 visualisiert, die genauen Koordinaten und Signifikanzen sind Tabelle 4.7 zu entnehmen.

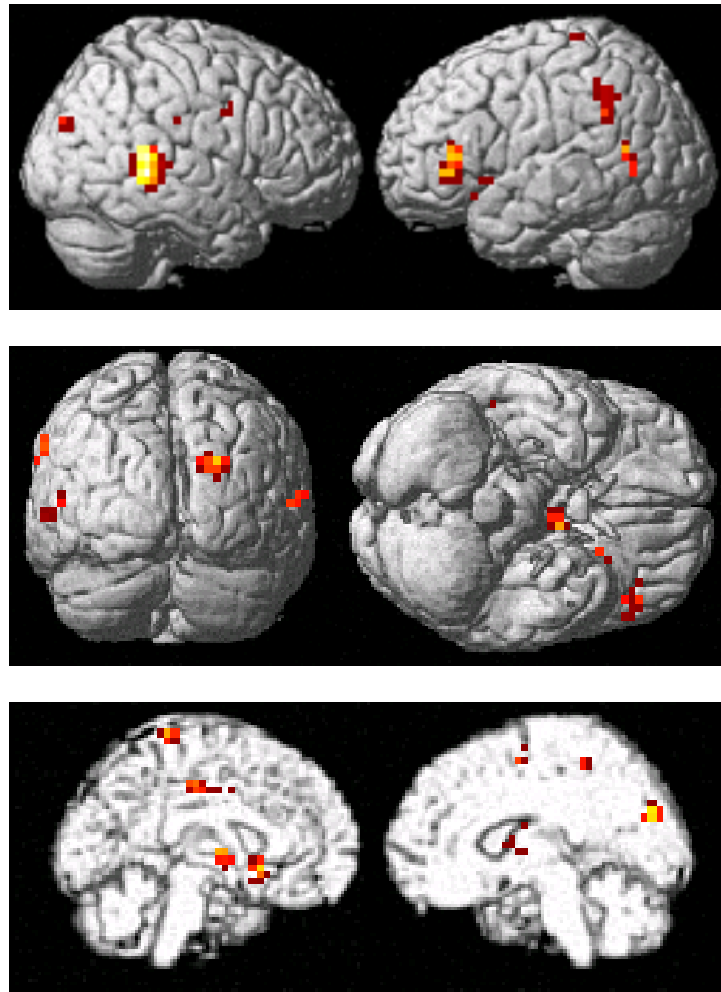


Abb. 4.14: Signifikante Aktivierungen bei kongruenten Trials nach neutraler Affektinduktion / Kontrast (N)KO>BA ( $p = 0.005$ ). In der oberen Abbildung sind die Seitenansichten der rechten und linken Hemisphäre, in der mittleren Abbildung die Ansicht von hinten sowie von unten dargestellt (resp.). Die untere Abbildung zeigt die mediale Schnittfläche beider Hemisphären.

#### 4.2.4.2 Aktivierungen in der Kongruenz-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion

In der Kongruenz-Bedingung nach negativ-erregender Affektinduktion zeigten sich zahlreiche signifikante Aktivierungen. Im Okzipitallappen befanden sich in beiden Hemisphäre Aktivierungen im Bereich des lateralen sowie medialen Kortex (Cuneus, Precuneus), wobei die medialen Aktivierungen mit Aktivierungen des caudalen posterioren cingulären Kortex zusammenflossen. Weitere median gelegene Aktivierungen befanden sich weiter anterior, und zwar im posterioren frontomedianen Kortexbereich / prä-SMA, im peri- und subgenualen Bereich des ACC sowie im anterioren frontomedianen Kortex, wobei letztere teilweise die Mantelkante überschritten. Im Temporallappen war in beiden Hemisphären jeweils ein

größeres Areal aktiviert, dessen Fokus rechts weiter anterior im mittleren Temporalgyrus lag und links weiter posterior im superioren temporalen Sulcus. Superior dieser Aktivierung befand sich eine Aktivierung im Bereich des temporo-okzipitalen Kortex um das horizontale posteriore Segment des superioren temporalen Gyrius herum. Im rechten Parietallappen war ebenfalls eine Aktivierung zu finden, welche im Vergleich zur linken Hemisphäre etwas weiter superior im angularen Gyrius lag. Beide zuletzt angeführten Aktivierungen befanden sich demnach an der Schnittstelle zwischen Temporal- und Parietallappen und stimmten mit dem TPJ-Areal überein. Schließlich befanden sich zahlreiche Aktivierungen im Frontallappen, und zwar in der linken Hemisphäre im ventralen inferioren frontalen Kortex und im posterioren Anteil des mittleren frontalen Gyrius übergehend in den präzentralen Gyrius. In beiden Hemisphären fanden sich Aktivierungen entlang des superioren frontalen Gyrius. In der rechten Hemisphäre befand sich ähnlich der linken eine Aktivierung im ventralen inferioren frontalen Kortex, welche im Vergleich jedoch etwas weiter dorsal lag und einen Teil des inferioren frontalen Sulcus umfasste. Ebenfalls in der rechten Hemisphäre war ein Areal aktiv, welches weiter posterior gelegene Anteile des inferioren und des mittleren frontalen Gyrius umfasste und mit dem DLPFC übereinstimmte. Alle Aktivierungen sind in Abb. 4.15 visualisiert, exakte Koordinaten und Signifikanzwerte sind in Tab. 4.7 dargestellt.

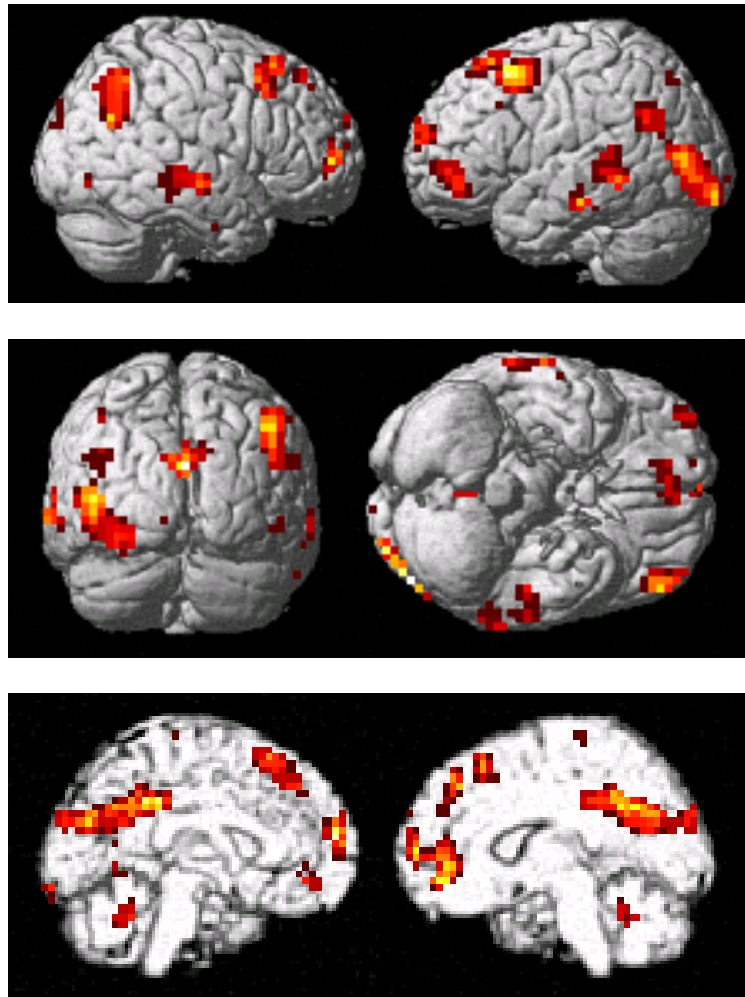


Abb. 4.15: Signifikante Aktivierungen bei kongruenten Trials nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (A)KO>BA ( $p = 0.005$ ). In der oberen Abbildung sind die Seitenansichten der rechten und linken Hemisphäre, in der mittleren Abbildung die Ansicht von hinten sowie von unten dargestellt (resp.). Die untere Abbildung zeigt die mediale Schnittfläche beider Hemisphären.

#### 4.2.4.3 Interaktion: Unterschiede der Aktivierungsmuster kongruenter Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion

##### 4.2.4.3.1 Deskriptive Unterschiede

Vergleicht man die Aktivierungsmuster für kongruente Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion, so kann man folgende wesentliche Unterschiede konstatieren: Ebenso wie nach negativ-erregenden IAPS-Bildern führten kongruente Trials nach neutralen IAPS-Bildern zu stabilen Aktivierungen in mehreren Hirnregionen. Nach negativ-erregender Affektinduktion fanden sich allerdings mehr aktivierte Areale vor allem

im präfrontalen Kortex. In den übrigen Hirnlappen fanden sich in beiden Affektbedingungen ähnliche Aktivierungen mit jeweils leicht verschobenen Foki.

Zur Ausdehnung der vorhandenen Aktivierungen ist festzustellen, dass diejenigen Aktivierungen, welche nach negativ-erregender Affektinduktion auftraten, in der Regel deutlich ausgedehnter waren, was auch aus dem Vergleich der beiden visualisierten Darstellung 4.14 und 4.15 deutlich hervorgeht.

Negativ-erregende Affektinduktion führte demnach zu stärker ausgeprägten Aktivierungen und einer stärkeren Beteiligung präfrontaler Hirnareale. Eine vergleichende Darstellung beider Kontraste findet sich in Tab. 4.7.



Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)	
	(N)KO>BA	(A)KO>BA
<b>Gemeinsame Aktivierungen beider Affektbedingungen</b>		
L temporo-parietaler Kortex / horizontales posteriores Segment des Sulcus temporalis superior	4.22 (-60 -48 40)***	3.99 (-28 -64 32)***
R superiorer okzipitaler Kortex / Cuneus	4.17 (24 -80 24)***	3.92 (4 -92 24)***
R Sulcus temporalis superior	6.68 (52 -40 0)***	5.11 (68 -16 -8)***
L ventraler inferiorer frontaler Kortex	4.18 (-44 32 4)***	3.66 (-48 44 -8)**
<b>Areale, die nur nach neutraler Affektinduktion aktiviert waren</b>		
L PCC (rostraler Anteil)	4.64 (-16 -24 44)***	n.s.
L Putamen	4.49 (-24 16 -8)***	n.s.
L Gyrus temporalis medius (posteriorer Anteil)	3.63 (-48 -60 12)**	n.s.
L Thalamus	3.60 (-4 -8 4)**	n.s.
L posteriorer frontomedianer Kortex (SMA)	[4.13 (16 -4 56)***] k=3	n.s.
L Sulcus centralis (superiorer Anteil)	[3.48 (-12 -32 72)**] k=9	n.s.
R Gyrus präcentralis / ventraler prämotorischer Kortex	[3.29 (64 4 36)**] k=4	n.s.
<b>Areale, die nur nach negativ-erregender Affektinduktion aktiviert waren</b>		
R Gyrus angularis / TPJ	n.s.	4.14 (48 -60 48)***
R Sulcus frontalis inferior / Gyrus frontalis medius (DLPFC)	n.s.	4.87 (52 20 44)***
L Gyrus frontalis superior	n.s.	4.41 (-16 24 60)***
R Gyrus frontalis superior	n.s.	5.65 (20 24 52)***
L Gyrus frontalis medius (posterior) / Sulcus präcentralis	n.s.	4.64 (-36 8 52)***
R ventraler inferiorer frontaler Kortex / Sulcus frontalis inferior	n.s.	3.90 (36 56 4)***
L anteriorer frontomedianer Kortex	n.s.	3.90 (-4 64 20)***
R ACC (peri- / subgenua)	n.s.	6.10 (12 44 -4)***
R posteriorer frontomedianer Kortex (preSMA)	n.s.	4.23 (8 40 44)***
R Precuneus / Cuneus	n.s.	4.55 (8 -64 32)***
L posteriorer okzipitaler Kortex / Gyrus occipitalis inferior	n.s.	6.46 (-28 -96 -12)***
L Gyrus temporalis medius (anteriorer Anteil)	n.s.	4.22 (-68 -36 0)***
R PCC (caudaler Anteil)	n.s.	4.74 (8 -48 40)***
L PCC (caudaler Anteil)	n.s.	3.77 (-8 -40 32)**

Tab. 4.7: Hirnaktivierungen bei der Darbietung kongruenter Trials nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion. (\*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.005$ , n.s. = nicht signifikant,  $k$  = Clustergröße)

#### 4.2.4.3.2 Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion

Nach negativ-erregender Affektinduktion riefen kongruente Trials einige Aktivierungen hervor, die sich signifikant vom Aktivierungsmuster der kongruenten Trials nach neutralen IAPS-Bildern abhoben. Alle aktivierten Areale dieses Interaktionskontrasts ((int)A>N\_KO-BA) waren kleiner als die Mindestclustergröße von 10 Voxeln, da aber alle der signifikanten Foki ( $p < 0.01$ ) eine entsprechende Aktivierung im Kontrast (A)KO>BA fanden, sollen sie

dennoch dargestellt werden. Signifikant stärkere Aktivierungen in der negativ-erregenden Affektbedingung befanden sich demnach im linken posterioren okzipitalen Kortex sowie im anterioren Anteil des rechten mittleren Temporalgyrus. Außerdem waren mediane Kortextareale im Bereich des kaudalen Anteils des posterioren cingulären Kortex in beiden Hemisphären stärker aktiviert. Die signifikanten Aktivierungsunterschiede in diesem Interaktionskontrast sowie ihre Entsprechungen im Kontrast (A)KO>BA sind in Tab. 4.8 dargestellt und in Abb. 4.16 als Projektion auf das MNI-Standardgehirn veranschaulicht.

Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)	
	(A)KO>BA	(int)A>N_KO>BA
L posteriorer okzipitaler Kortex / Gyrus occipitalis inferior	6.46 (-28 -96 -12)***	[3.23 (-48 -84 0)**] k=2
L Gyrus temporalis medius (anteriorer Anteil)	4.22 (-68 -36 0)***	[3.74 (-64 -36 4)**] k=1
R PCC (caudaler Anteil)	4.74 (8 -48 40)***	[2.76 (4 -32 36)*] k=2
L PCC (caudaler Anteil)	3.77 (-8 -40 32)**	[2.74 (-4 -36 32)*] k=1

Tab. 4.8: Signifikante Aktivierungszunahme nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (int)A>N\_KO>BA. Zum Vergleich sind auch entsprechende Aktivierungen des Kontrasts (A)KO>BA angegeben. (\*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.005$ ,  $k$  = Clustergröße)

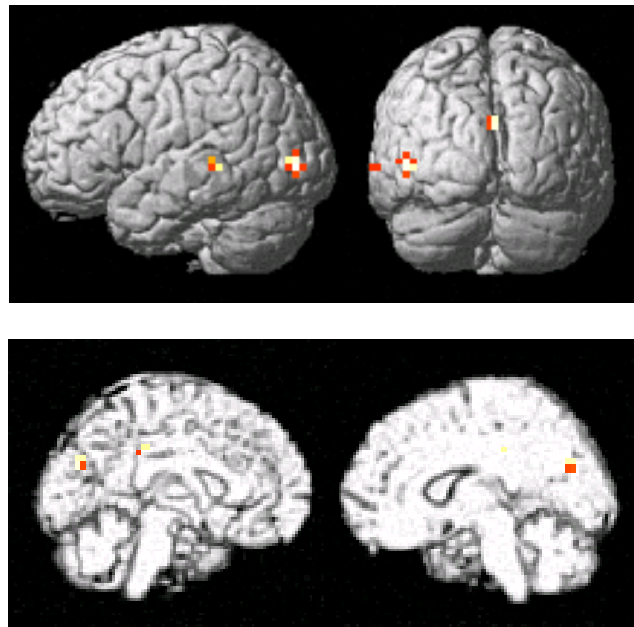


Abb. 4.16: : Aktivierungen, die bei kongruenten Trials nach negativ-erregender Affektinduktion signifikant stärker waren / Kontrast (int)KO-BA ( $p < 0.01$ ). Im oberen Teil der Abbildung sind die linke Seitenansicht sowie die Ansicht von hinten dargestellt, im unteren Teil die Medianansichten beider Hemisphären (resp.).

#### 4.2.4.3.3 Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion

Nach neutraler Affektinduktion waren bei kongruenten Trials folgende Aktivierungen signifikant stärker als nach negativ-erregender Affektinduktion: Erstens fand sich ein signifikanter Aktivierungsunterschied im Bereich des postzentralen Kortex der linken Hemisphäre und zweitens im Bereich der rechten Amygdala. Für keins der beiden Areale konnte eine entsprechende Aktivierung nach neutraler Affektinduktion (im Kontrast (N)KO>BA) gefunden werden. Vielmehr zeigten sich entsprechende Deaktivierungen dieser Areale nach negativ-erregender Affektinduktion (im Kontrast (A)KO>BA). Die in diesem Interaktionseffekt gefundenen signifikanten Aktivierungsunterschiede beruhen folglich darauf, dass nach der Darbietung eines negativ-erregenden IAPS-Bilds die Aktivität im Bereich der rechten Amygdala sowie des linken postzentralen Kortex im Vergleich zur neutralen Affektbedingung abnahm. Signifikante Aktivitätsunterschiede im vorliegenden Interaktionskontrast sind in Abb. 4.17 dargestellt und mit den entsprechenden Deaktivierungen des Kontrasts (A)KO>BA in Tab. 4.9 aufgeführt.

Region	t-Wert (MNI-Koordinaten)	
	(int)A<N_KO>BA	Deaktivierung in (A)KO>BA
L Gyrus postcentralis / somatosensorischer Kortex	3.75 (-60 -24 44)**	[2.65 (-60 -28 44)*] k=1
R Amygdala	[3.14 (32 4 -24)**] k=2	3.17 (32 -4 -24)**

Tab. 4.9: Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (int)A<N\_KO>BA. Zum Vergleich sind auch entsprechende Deaktivierungen des Kontrasts (A)KO>BA angegeben. (\*\*  $p < 0.005$ ,  $k$  = Clustergröße)



Abb. 4.17: Signifikante Aktivierungsabnahme nach negativ-erregender Affektinduktion / Kontrast (int)A<N\_KO>BA ( $p < 0.01$ ). Links ist die Seitenansicht der linken und rechts die Medianansicht der rechten Hemisphäre dargestellt (resp.).

#### 4.2.5 Zusammenfassung: Interaktionseffekte

Die vergleichende Betrachtungsweise des Einflusses der präinduzierten Emotion auf die Aktivierungsmuster, die durch inkongruente, kongruente und Oddball-Trials hervorgerufen werden, macht folgende Gemeinsamkeiten der entsprechenden Interaktionseffekte deutlich:

Erstens liegen jeweils ähnliche Unterschiede zwischen den Aktivierungen nach negativ-erregender Affektinduktion und denen nach neutraler präinduzierter Emotion vor. Die Induktion eines neutralen Affektzustands führte jeweils zu schwachen bis mäßigen Aktivierungen. Negativ-erregende Affektinduktion bewirkte jeweils eine deutlich stärkere und ausgeprägtere Beteiligung dieser Areale. Zudem waren nach der Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands jeweils weitere Aktivierungen zu finden, die nach neutraler Affektinduktion nicht vorkamen, bzw. bei der gewählten Schwelle keine Signifikanz erreichten.

Diese „Mehraktivierungen“ nach negativ-erregender Affektinduktion wurden zumindest teilweise statistisch bestätigt: In allen kognitiven Bedingungen waren einige der Aktivierungen, die nach negativ-erregender Affektinduktion signifikant waren und nach neutraler Affektinduktion nicht, im direkten Vergleich beider Affektbedingungen nach negativ-erregender Affektinduktion signifikant stärker.

Umgekehrt fanden sich in der Inkongruenz- und der Kongruenz-Bedingung einige Areale, welche nach neutraler Affektinduktion signifikant stärker aktiviert erschienen als nach negativ-erregender Affektinduktion. Dieser Effekt basierte auf Deaktivierungen nach negativ-erregender Affektinduktion. In beiden kognitiven Bedingungen war speziell die rechte Amygdala von diesem Effekt betroffen.

## 5 Diskussion

### 5.1 *Neuronale Korrelate der Affektinduktion durch negativ-erregende IAPS-Bilder*

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass während der Präsentation negativ-erregender IAPS-Bilder im Vergleich zur Darbietung neutraler IAPS-Bilder zahlreiche Hirnareale aktiviert waren, welche im Zusammenhang mit Emotionsverarbeitung stehen (vgl. [2.2.2](#)).

#### 5.1.1 Subkortikale Areale: Amygdala und Colliculi superiores

Starke Aktivierungen in den Amygdalae beider Hemisphären stehen im Einklang mit Ergebnissen zahlreicher anderer Studien, welche bei der Darbietung negativ-valenter IAPS-Stimuli ebenfalls Amygdala-Aktivierungen nachweisen konnten (Anders et al., 2004; Harenski & Hamann, 2006; Hariri et al., 2002; Hariri et al., 2003; Lane et al., 1997; Mathews et al., 2004; Paradiso et al., 1999). Ebenso lässt sich die Beteiligung der superioren Colliculi im Rahmen der Verarbeitung negativ-valenter IAPS-Bilder durch Ergebnisse anderer Studien belegen (z. B. Mathews et al., 2004). Die colliculi superiores spielen im Allgemeinen eine wesentliche Rolle beim Zustandekommen von Sakkaden und dienen der Ab- und Zuwendungsbewegung der Augen (Trepel 2004). Als Schaltstelle der Sehbahn mit direkten afferenten Verbindungen zur Retina werden sie auch als wichtiger Bestandteil eines subkortikalen emotionsverarbeitenden Pfades diskutiert, in welchem visuelle Informationen ohne neokortikale Beteiligung direkt zur Amygdala weitergeleitet werden (Das et al., 2005; Morris et al., 1999). Hingegen ließ sich in der vorliegenden Studie keine signifikante Beteiligung weiterer subkortikaler Kerngebiete wie beispielsweise des Mittelhirns oder des Pulvinars an der Verarbeitung negativ-erregender IAPS-Bilder nachweisen, welche als weitere Bestandteile eines subkortikalen Verarbeitungspfades angenommen werden (Das et al., 2005; Morris et al., 1999). Dies mag jedoch damit zusammen hängen, dass die Schichtführung der Kernspin-Messung so ausgewählt wurden, dass kortikale Prozesse optimal dargestellt werden konnten. Funktionelle Vorgänge in tiefer gelegenen Hirnabschnitten wurden daher möglicherweise nicht optimal erfasst. Nichtsdestotrotz kann man aufgrund der starken Amygdala-Aktivierungen sowie der Aktivierungen der Colliculi superiores ein Ansprechen des subkortikalen limbischen Netzwerks der Affektverarbeitung auf die dargebotenen Stimuli annehmen.

### 5.1.2 Okzipitale, temporo-okzipitale und parietale Kortexareale

Die beschriebenen Aktivierungen im Bereich des okzipitalen, temporo-okzipitalen und parietalen Kortex spiegeln verstärkte Verarbeitungsprozesse in höheren visuellen Arealen wider mit Beteiligung des ventralen und dorsalen visuellen Pfads (Ungerleider & Haxby, 1994). Generell steht eine stärkere Beteiligung höherer visueller Verarbeitungsareale bei der Darbietung salienter negativ-erregender Stimuli im Zusammenhang mit verstärkten Aufmerksamkeitsprozessen (Pessoa & Ungerleider, 2004) (vgl. [2.3.2](#)). Erhöhte Aufmerksamkeit auf einen emotional salienten Stimulus wird als Voraussetzung für eine gesteigerte Sensibilität und Reaktionsbereitschaft angesichts möglicherweise bedeutsamer Umweltveränderungen angesehen (Lane et al., 1999).

### 5.1.3 Somatosensorischer und prämotorischer Kortex

Die postzentralen Gyri stehen funktionell in erster Linie im Dienste der Somatosensorik, also der Verarbeitung sensorischer Afferenzen aus den Rezeptoren der Haut und der Bewegungsorgane (Trepel 2004). Aber auch im Rahmen der Emotionsverarbeitung wurden häufig Aktivierungen dieser Areale gefunden (Anders et al., 2004; Cunningham et al., 2004; Mathews et al., 2004). Damasio et al. (2000) argumentierten, dass Aktivierungen des somatosensorischen Kortex in diesem Zusammenhang sogenannte „Körperlandschaften“ („perceptual maps of the organism state“) repräsentieren, welche unabhängig von afferenten Signalen der Körperperipherie sind. Durch diese „Körperlandschaften“ werde ein spezifischer innerer Zustand abgebildet, welcher mit der Erfahrung einer bestimmten Emotion assoziiert ist. Diese „Simulation“ eines spezifischen emotionalen Körperzustands wird als Voraussetzung angesehen, einerseits eigene Emotionen bewusst zu erleben und andererseits Emotionen im sozialen Gegenüber identifizieren zu können (Adolphs et al., 2000; Damasio et al., 2000).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten allerdings, dass die Aktivierung der linken Hemisphäre nicht auf den Gyrus postcentralis beschränkt ist, sondern auch Teile des Gyrus präcentralis umfasst. Dieses Areal entspricht funktionell dem primären motorischen Kortex, welcher als Ursprungsort der Willkürbewegung gilt und von welchem direkte efferente motorische Impulse ausgehen (Trepel 2004). Ähnlich wie dem somatosensorischen Kortex wird auch dem motorischen Kortex die Eigenschaft zugeschrieben, eine „Karte des Körpers“ abzubilden, wobei allerdings bewegungsbezogene Aspekte im Vordergrund stehen (Schubotz & von Cramon, 2003). Es wird davon ausgegangen, dass bestimmte Wahrnehmungsmuster

zum Aufbau von Repräsentationen im Motorkortex führen, welche zu einer möglichst geeigneten Reaktion auf den wahrgenommenen Stimulus führen würden (Schubotz et al., 2003). Diese motorischen Vorstellungsbilder seien auch dann aktiviert, wenn weder die Ausführung noch die Vorstellung einer motorischen Handlung verlangt werden. Insofern werden diese Prozesse als kognitive Funktionen bewertet, welche unter anderem dem Verständnis von Handlungen und der Kategorisierung von Objekten dienen (Schubotz & von Cramon, 2003). Zu ähnlichen Interpretationen führten auch Untersuchungen zu einem System von Spiegelneuronen. Aus den Ergebnissen dieser Studien wurde geschlussfolgert, dass dem prämotorischen Kortex eine wichtige Rolle beim Verstehen von Handlungen und beim Imitationslernen zukommt (Rizzolatti & Craighero, 2004).

In diesem Kontext könnte man daher spekulieren, dass die vorgefundenen Aktivierungen im Bereich der post- und präzentralen Gyri emotionale Wahrnehmungsprozesse widerspiegeln, die mit der Bewusstwerdung und dem Verständnis des emotionalen Stimulus zu tun haben.

#### **5.1.4 Temporalpol und Sulcus temporalis superior**

Aktivierungen im Bereich des temporopolaren Kortex und des Sulcus temporalis superior wurden bereits in verschiedenen Untersuchungen gefunden. Zum einen werden diese Kortextbereiche mit Prozessen der motorischen Planung und der Reaktion auf einen Stimulus assoziiert (Astafiev et al., 2003; Laurens et al., 2005). Zum anderen treten Aktivierungen dieser Areale auch im Zusammenhang mit Affektverarbeitung auf, wobei insbesondere der Verarbeitung sog. sozialer oder moralischer Emotionen eine besondere Rolle zukommt (Britton et al., 2006b; Moll et al., 2002). Schließlich wird der Temporalpol mit lexikalischen und semantischen Abrufprozessen in Verbindung gebracht (Melcher & Gruber, 2006).

Bezogen auf die Darbietung negativ-erregender Photographien in der vorliegenden Studie mögen die Aktivierungen in diesem Bereich die Wahrnehmung sozialer und moralischer Implikationen widerspiegeln. Möglicherweise geschieht dieser Aspekt der Affektverarbeitung unter Rückgriff auf sprachbezogene Wissensinhalte. Auch eine Rolle beim Aufbau einer Reaktionsbereitschaft scheint angesichts der Ergebnisse denkbar.

#### **5.1.5 Orbitofrontaler Kortex und Frontalpol**

Allgemein korrelieren Aktivierungen des orbitofrontalen Kortex (OFC) mit der Valenzdimension von erlebten Emotionen (Anderson et al., 2003; Britton et al., 2006b;

Cunningham et al., 2004; Small et al., 2003) (vgl. [2.2.2](#)). Entsprechend wird die Funktion des OFC in der Evaluation bzw. in der Bewertung der persönlichen Relevanz einer salienten emotionalen Gegebenheit gesehen. Durch diesen Bewertungsprozess wird eine adaptive Verhaltensanpassung an die Anforderungen der jeweiligen Situation ermöglicht (Ullsperger & von Cramon, 2004). Northoff et al. (2000) machten die Beobachtung, dass insbesondere negativ-valente Stimuli zu ausgedehnten orbitofrontalen Aktivierungen führen.

Die Rolle des Frontalpols ist in diesem Kontext wahrscheinlich ähnlich wie die des OFC zu bewerten. Cunningham et al. (2004) zeigten Aktivierungen des Frontalpols im Zusammenhang mit der expliziten Bewertung eines emotionalen Stimulus.

Die hier gefundenen Aktivierungen im Bereich des OFC und des Frontalpols mögen demnach Prozesse widerspiegeln, durch welche die negativen emotionalen Inhalte der Photographien auf ihr Ausmaß an Verhaltensrelevanz hin bewertet werden.

### **5.1.6 Posteriorer cingulärer Kortex**

Aktivierungen des posterioren cingulären Kortex (PCC) wurden bereits bei anderen Studien in Zusammenhang mit der Darbietung negativ-valenter IAPS-Photographien gefunden (z. B. Mathews et al., 2004). In Abschnitt [2.2.2](#) wurde bereits die tonische Aktivität des posterioren cingulären Kortex angesprochen, welche möglicherweise mit dem Erkennen verhaltensrelevanter Umweltaspekte auch im Ruhezustand des Gehirns zu tun hat (Kennedy et al., 2006; Raichle et al., 2001; Schulman et al., 1997). Gruber et al. (2001) berichteten über Aktivität des PCC im Zusammenhang mit Kopfrechnen und schrieben ihm eine Rolle bei Gedächtnisabrufprozessen zu. In diesem Sinne ist die Funktion dieses Areals möglicherweise ähnlich der des OFCs die Reaktion auf eine potenzielle verhaltensrelevante Dimension des dargebotenen negativ-erregenden IAPS-Bilds unter Rückgriff auf bereits erworbenes Wissen.

### **5.1.7 Kleinhirn**

Dem Cerebellum werden in erster Linie motorische Funktionen zugeschrieben wie beispielsweise Zielmotorik, aber auch Blickmotorik mit Steuerung der Augenmuskeln (Trepel, 2004). Entsprechend wurden Kleinhirnaktivierungen in Untersuchungen mit salientem Stimulusmaterial gefunden, wie erstens in Oddball-Paradigmen (Amso et al., 2005; Braver et al., 2001; Clark et al., 2000; Stevens et al., 2005a) oder zweitens bei der Darbietung emotionaler Stimuli (Gündel et al., 2003; Lane et al., 1997; Paradiso et al., 1999; Small et al.,



2003). Außerdem gibt es aber auch Anhaltspunkte dafür, dass sich die Funktion des Cerebellums nicht auf den motorischen Bereich beschränkt, sondern dass es auch bei gewissen kognitiven Prozessen eine Rolle spielt (Gottwald et al., 2004).

Die Aktivierungen durch negativ-erregende IAPS-Bilder in der vorliegenden Studien stehen funktionell am ehesten mit einer Kontrolle der Blickbewegung als Reaktion auf einen salienten, möglicherweise verhaltensrelevanten Stimulusinhalt im Einklang. Jedoch sollte ein möglicher Zusammenhang mit kognitiven Prozessen nicht ausgeschlossen werden.

### **5.1.8 Zusammenfassende Bewertung**

Die Präsentation negativ-erregender IAPS-Stimuli führte insgesamt zu sehr starken und symmetrischen Aktivierungen der beiden Hemisphären, wobei wie erwartet eine Lateralisation tendenziell in die rechte Hemisphäre erfolgte. Die aktivierten Areale waren zum einen Strukturen eines subkortikalen, limbischen emotionsverarbeitenden Netzwerks. Zum anderen waren Bereiche des Neokortex involviert, die mit allgemeinen Aufmerksamkeitsprozessen auf einen affektiven Stimulus hin im Zusammenhang stehen. Die Ergebnisse sprechen in ihrer Gesamtheit dafür, dass durch die Darbietung negativ-erregender IAPS-Photographien in der vorliegenden Studie neuronale Strukturen der Affektverarbeitung aktiviert werden konnten, und damit der emotionale Faktor der interessierenden Fragestellung effektiv operationalisiert wurde.

## ***5.2 Kognitive Prozesse während der Stroop-Oddball-Aufgabe***

### **5.2.1 Inkongruenz-Effekt**

#### **5.2.1.1 Inkongruenz-Effekt auf Verhaltensebene**

Sowohl aus der Analyse der Fehlerhäufigkeiten als auch aus der Reaktionszeitanalyse ergab sich ein deutlicher Inkongruenz-Effekt, wobei dieser Effekt nach negativ-erregender Affektinduktion jeweils signifikant stärker war als nach neutraler Affektinduktion. Diese Datenlage repliziert somit erstens die Ergebnisse zahlreicher Studien, in denen Stroop-Inkongruenz zu Reaktionszeitverlängerungen und einer Zunahme der Fehleranzahl führte (Stroop, 1935; Banich et al., 2000a; Melcher & Gruber, 2005; Van Veen et al., 2005). Man kann daher annehmen, dass mit der Inkongruenz-Bedingung des vorliegenden Paradigmas kognitiver Konflikt adäquat induziert wurde. Zweitens stehen die vorliegenden Daten im

Einklang mit den Ergebnissen von Studien, welche einen affektiv-kognitiven Interaktionseffekt zeigen konnten im Sinne einer stärkeren Fehler- und Reaktionszeitzunahme in Zusammenhang mit negativ-valentem Stimulusmaterial (Compton & Banich, 2003; Dreisbach, 2006; Schimmack, 2005). Insofern implizieren die vorliegenden Ergebnisse eine zusätzliche Interferenz durch einen präinduzierten negativ-erregenden Affektzustand.

### **5.2.1.2 Neuronale Korrelate des Inkongruenz-Effekts**

#### ***5.2.1.2.1 Gemeinsame neuronale Korrelate des Inkongruenz-Effekts nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion***

Unter beiden Affektbedingungen wurden bei der Darbietung inkongruenter Wortstimuli Aktivierungen gefunden, welche im Sinne von task-set Management-Prozessen sowie verstärkter visueller Aufmerksamkeit interpretiert werden können:

Da Stroop-Inkongruenz durch die gleichzeitige Aktivierung zweier konkurrierender Antworttendenzen einen kognitiven Konflikt induzieren sollte, mögen neuronale Prozesse in Gang gesetzt werden, welche der strategischen Anpassung an diese Konfliktsituation dienen und eine adäquate Performanz der Aufgabe unter diesen erschwerten Bedingungen sicherstellen. In diesem Sinne kann die verstärkte Rekrutierung des IFJ-Areals als mentale Konfiguration der aufgabenspezifischen Anforderungen gewertet werden (Brass & von Cramon, 2002; Brass & von Cramon, 2004; Gruber et al., 2006).

Durch diesen kognitiven Kontrollprozess wird möglicherweise die Ausrichtung selektiver Aufmerksamkeit auf die relevante Stimulusdimension gewährleistet. Die Aktivierung posteriorer okzipitaler Kortexareale, welche im Dienste höherer visueller Verarbeitungsprozesse stehen, mag diesen Aufmerksamkeitsprozess auf neuronaler Ebene widerspiegeln (Lane et al., 1999).

#### ***5.2.1.2.2 Zusätzliche neuronale Korrelate des Inkongruenz-Effekts nach negativ-erregender Affektinduktion***

Nach der Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands fanden sich Zeichen verstärkter kognitiver Kontrollprozesse. Zum einen waren die Aktivierungen, welche im vorangehenden Abschnitt diskutiert wurden, deutlicher ausgeprägt nach negativ-erregender Affektinduktion. Zum anderen wurden zusätzlich weitere Aktivierungen gefunden, welche mit kognitiven

Kontrollmechanismen in Zusammenhang gebracht werden können. Im einzelnen ergab das Aktivierungsmuster für inkongruente Stimuli nach negativ-erregender Affektinduktion das folgende Bild:

Dem dorsalen ACC wird allgemein eine bedeutende Rolle für die Konflikt Detektion beigemessen (vgl. [2.2.1.3](#)). Eine Beteiligung dieses Areals spricht hier dafür, dass die Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands das Konfliktpotenzial eines inkongruenten Stroop-Stimulus vergrößert (Botvinick et al., 1999; Carter et al., 2000).

Entsprechend finden sich Zeichen einer verstärkten strategischen Anpassung an diese konflikträchtige Situation (Ridderinkhof et al., 2004b): Zum einen wird durch die Aktivierung der prä-SMA eine motorische Kontrollinstanz rekrutiert, welche die Implementierung des task-sets auf motorischer Ebene gewährleistet (Brass & von Cramon, 2002). Zum anderen finden sich starke Aktivierungen in lateralen präfrontalen Kortextbereichen wie den IFJ Arealen beider Hemisphären, deren Bedeutung für die Fokussierung auf die aufgabenspezifischen Anforderungen bereits im vorangehenden Abschnitt erläutert wurde. Aktivierungen des Gyrus frontalis medius und des Kortex entlang des Sulcus frontalis inferior wurden ebenfalls bei vielen Studien im Rahmen einer Inkongruenz-Bedingung bei einer Stroop-Aufgabe gefunden (Banich et al., 2000b; Milham & Banich, 2005; Milham et al., 2001). Wie andere Bereiche des lateralen präfrontalen Kortex werden auch diese Areale mit der Lösung von Interferenzproblemen in Zusammenhang gebracht (Zysset et al., 2001).

Dieses verstärkte task-set Management nach negativ-erregender Affektinduktion ist mit einer Rekrutierung des dorsalen frontoparietalen Aufmerksamkeitsnetzwerks assoziiert: Aktivierungen des parietalen Kortex und des IPS wurden häufig beim Auftreten von Stroop-Inkongruenz geschildert (Compton & Banich, 2003; Egner & Hirsch, 2005; Milham et al., 2001; Van Veen & Carter, 2005; Zysset et al., 2001). Im Rahmen eines top-down gerichteten Aufmerksamkeitsprozesses spiegeln sie wahrscheinlich eine spezifizierte Repräsentation des task-sets wider (Brass et al., 2005b). Eine ausgeprägtere Beteiligung höherer visueller Verarbeitungsareale nach negativ-erregender Affektinduktion spricht für stärkere Aufmerksamkeitsprozesse (Pessoa & Ungerleider, 2004). Auch cerebelläre Aktivierungen als Äußerung verstärkter motorischer Blickkontrolle sind mit verstärkten Aufmerksamkeitsprozessen in Einklang zu bringen (vgl. [5.1.7](#)). Schließlich steht auch die Beteiligung des Precuneus, welcher nach negativ-erregender Affektinduktion signifikant

stärker aktiviert war, in Einklang mit erhöhter Aufmerksamkeit auf eine verhaltensrelevante Konstellation von Umweltaspekten (vgl. [2.2.2](#)).

#### ***5.2.1.2.3 Der Einfluss negativ-erregender Affektinduktion auf die Aktivität affektverarbeitender Hirnareale während der Darbietung von Stroop-Inkongruenz***

Ein Interaktionseffekt zeigte sich in der signifikant stärkeren Deaktivierung der rechten Amygdala und des rechten Sulcus temporalis superior durch einen inkongruenten Stimulus nach negativ-erregender Affektinduktion. Diese beiden Areale spielten eine Rolle bei der Verarbeitung der negativ-erregenden IAPS-Bilder (vgl. [5.1.1](#) und [5.1.4](#)). Diese Befundlage ist möglicherweise als ein Anzeichen für Reziprozität zwischen emotionalen und affektiven Verarbeitungsarealen zu deuten. Die Implikationen dieses Ergebnisses werden eingehender an späterer Stelle diskutiert (s. [5.3.1.2](#)).

#### **5.2.1.3 Zusammenfassung: Inkongruenz-Effekte nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion**

Insgesamt führte die Auswertung der Verhaltensdaten und der funktionellen Kernspinbilder zu folgendem Ergebnis bezüglich des Inkongruenz-Effekts:

Erstens geht die Datenlage konform mit der Annahme eines Inkongruenz-Effekts nach neutraler Affektinduktion. Zum einen sind bei inkongruenten Stimuli deutliche Veränderungen auf der Verhaltensebene zu beobachten. Zum anderen wurden Hirnaktivierungen beobachtet, welche im Dienste kognitiver Kontrolle und Aufmerksamkeit stehen. Allerdings ist dieser Effekt weniger ausgeprägt als erwartet, da lediglich wenige und schwache Aktivierungen gefunden wurden. Dennoch weisen sowohl die Verhaltensdaten als auch die vorhandenen Hirnaktivierungen auf einen Inkongruenzeffekt nach neutraler Affektinduktion hin.

Zweitens geht aus den Daten ein deutlicher Inkongruenz-Effekt nach der Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands hervor. Auf Verhaltensebene zeigten sich sowohl in der Fehler- als auch in der Reaktionszeitanalyse hochsignifikante Unterschiede bei inkongruenten Trials nach negativ-erregender Affektinduktion. Auf neuronaler Ebene ließen sich entsprechend ausgedehnte und starke Aktivierungen in zahlreichen Arealen nachweisen, die mit kognitiver Kontrolle in Verbindung gebracht werden können und funktionell

wahrscheinlich Prozesse des task-set Managements und der top-down gerichteten Aufmerksamkeit sowie Monitoring und Kontroll-Prozesse widerspiegeln. Insofern liegen starke Anhaltspunkte für einen ausgeprägten Inkongruenz-Effekt nach negativ-erregender Affektinduktion vor.

Der Vergleich des Inkongruenz-Effekts in den beiden Affektbedingungen zeigt somit, dass deutliche quantitative Unterschiede vorliegen, im Sinne einer verstärkten Rekrutierung kognitiver Kontrollareale nach negativ-erregender Affektinduktion. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen der Verhaltensdatenanalyse, welche zeigten, dass der Inkongruenz-Effekt nach negativ-erregender Affektinduktion signifikant größer war. Die Datenlage spricht in ihrer Gesamtheit schließlich für ein größeres Ausmaß an Interferenz, wenn ein inkongruenter Stimulus auf einen negativ-erregenden Affektzustand fällt, so dass die neuronalen Mechanismen kognitiver Kontrolle verstärkt beansprucht werden. Außerdem bieten die gefundenen Deaktivierungen während der Darbietung inkongruenter Stimuli nach negativ-erregender Affektinduktion einen Anhaltspunkt dafür, dass mit der Verstärkung der kognitiven Kontrollmechanismen auch eine Suppression der Affektverarbeitung einhergeht.

## **5.2.2 Oddball-Effekt**

### **5.2.2.1 Oddball-Effekt auf Verhaltensebene**

Insbesondere die Ergebnisse der Reaktionszeitanalyse geben Aufschluss über einen Oddball-Effekt auf Verhaltensebene: Auf Reaktionszeitebene war ein deutlicher Oddball-Effekt zu erkennen, der nach neutraler Affektinduktion signifikant und nach negativ-erregender Affektinduktion hochsignifikant war. Diese Beobachtung steht in Einklang mit den Ergebnissen zahlreicher anderer Studien, in denen ebenfalls Reaktionszeitverlängerungen im Zusammenhang mit seltenen oder neuartigen Stimuli gefunden wurden (Braver et al., 2001; Kirino et al., 2000; Melcher & Gruber, 2005). Somit bietet die vorliegende Datenlage einen Hinweis erstens für das Vorhandensein eines Oddball-Effekts in beiden Emotionsbedingungen, und zweitens für einen Interaktionseffekt im Sinne eines tendenziell stärkeren Oddball-Effekts nach negativ-erregender Affektinduktion.

## **5.2.2.2 Neuronale Korrelate des Oddball-Effekts**

### ***5.2.2.2.1 Gemeinsame neuronale Korrelate des Oddball-Effekts nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion***

Sowohl nach neutraler als auch nach negativ-erregender Affektinduktion wurden Aktivierungsmuster beobachtet, die gut mit der Annahme verstärkter Aufmerksamkeitsprozesse sowie Prozessen des task-set Managements in Einklang zu bringen sind:

Die Aktivierung höherer visueller Verarbeitungsareale im posterioren okzipitalen Kortex sowie des ventralen visuellen Pfads im temporo-okzipitalen Kortex stehen wahrscheinlich im Zusammenhang mit einer gesteigerten Aufmerksamkeit auf einen visuellen Stimulus (Lane et al., 1999; Pessoa & Ungerleider, 2004). Eine Beteiligung dieser Areale wurde auch in zahlreichen anderen Studien mit seltenen oder neuen Stimuli gefunden (Clark et al., 2000; Corbetta et al., 2000; Kiehl et al., 2000a). Insofern stehen die gefundenen Aktivierungen in diesen Arealen mit einer Orientierungsreaktion auf einen salienten unerwarteten Reiz, wie er durch den Oddball-Stimulus gegeben ist, in Einklang.

Da der Oddball-Stimulus im vorliegenden Paradigma jedoch keine Verhaltensrelevanz im Sinne einer Verhaltensänderung besitzt, muss eine Refokussierung auf die aktuell relevante Aufgabe, bzw. die relevante Stimulusdimension erfolgen (d. h. die Orientierungsreaktion muss überschrieben werden). Dieser Prozess spiegelt sich u. a. in der Aktivität lateraler präfrontaler Kortexareale wider (z. B. Brass & von Cramon 2002) (vgl. [2.2.1.1](#)). Die hier gefundene Aktivierung des linken IFJ Areals könnte diesen Überschreibungsprozess durch die Reimplementierung des task-sets auf neuronaler Ebene widerspiegeln.

### ***5.2.2.2.2 Zusätzliche neuronale Korrelate des Oddball-Effekts nach negativ-erregender Affektinduktion***

Das Aktivierungsmuster von Oddball Stimuli nach negativ-erregender Affektinduktion zeigte ebenso wie nach neutraler Affektinduktion Anhaltspunkte für eine Orientierungsreaktion sowie für eine Refokussierung auf die aktuelle Stimulusdimension. Diese Aktivierungen waren jedoch nach negativ-erregender Affektinduktion deutlich stärker ausgeprägt und sprechen dafür, dass diese im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Prozesse hier verstärkt ablaufen.

Zusätzlich wurde nach negativ-erregender Affektinduktion eine Beteiligung des linken temporalen Kortex bzw. des TPJ Areals gefunden. Auch in zahlreichen anderen Oddball-Studien wurden TPJ-Aktivierungen berichtet (Behrmann et al., 2004; Bledowsky et al., 2004a; Clark et al., 2000; Corbetta et al., 2000; Mulert et al., 2004). Es wird allgemein angenommen, dass dieses Areal eine Schlüsselrolle bei der bottom-up Verarbeitung salienter Stimuli im Rahmen des ventralen frontoparietalen Aufmerksamkeitsnetzwerks spielt (vgl. [2.2.1.2](#)). Die hier gefundene Aktivierung des TPJ Areals steht daher in Einklang mit der eingangs postulierten verstärkten Orientierungsreaktion nach der Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands.

Für eine stärkere Orientierungsreaktion sprechen weiterhin auch Aktivierungen der Gyri lingualis und fusiformis. Aus bildgebenden Untersuchungen zu neuronalen Korrelaten der Sprachverarbeitung ist bekannt, dass diese Areale beim Lesen und semantischen Verarbeitungsaspekten eine Rolle spielen (Bokde et al., 2001; Tagamets et al., 2000). In einer anderen Studie konnte die Bedeutung des Gyrus fusiformis im Zusammenhang mit Überraschung auf einen neuartigen Reiz gezeigt werden (Strange et al., 2005). Diese Befunde mögen für das vorliegende Paradigma insofern eine besondere Implikation besitzen, als hier seltene Worte als Oddball-Stimuli fungierten, wohingegen in anderen Oddball-Paradigmen zumeist Figuren oder anderes als Stimulusmaterial verwendet wurden (Amso et al., 2005; Davidson et al., 2004; Vandenberghe et al., 2005). Die verstärkte Rekrutierung von Sprachverarbeitungsarealen bei der Darbietung eines unerwarteten Wort-Stimulus mag daher ebenfalls einen Aspekt der Orientierungsreaktion darstellen.

### **5.2.2.3 Zusammenfassung: Oddball-Effekte nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion**

Aus der Analyse der Reaktionszeiten und der funktionellen Kernspinbilder kann man folgende Schlüsse ziehen bzgl. der Verarbeitungsmechanismen für einen Oddball-Stimulus nach negativ-erregender vs. neutraler Affektinduktion:

Erstens ist nach neutraler Affektinduktion ein Oddball-Effekt zu finden. Zum einen sprechen signifikante Reaktionszeitverlängerungen für eine Interferenz durch Seltenheit. Zum anderen sind zwar nach neutraler Affektinduktion nur spärliche und schwache Aktivierungen vorhanden, diese geben jedoch gute Anhaltspunkte für das Auftreten zweier wesentlicher Komponenten der Oddball-Verarbeitung in diesem Paradigma: Verstärkte Aufmerksamkeit

auf den salienten Stimulus, sowie die Überschreibung der Orientierungsreaktion durch verstärkte task-set Management-Prozesse.

Zweitens liegt nach negativ-erregender Affektinduktion ein deutlicher Oddball-Effekt vor: Hochsignifikante Reaktionszeitunterschiede zeigten eine starke Interferenz durch Oddball-Stimuli nach negativ-erregender Affektinduktion. Auf neuronaler Ebene ergaben sich Zeichen einer deutlich stärkeren und weiter gefassten Orientierungsreaktion. Die Aktivierung des IFJ Areals mag als verstärkte kognitive Kontrolle interpretiert werden, welche zur Überschreibung der ausgeprägteren Orientierungsreaktion und zur Lösung kognitiver Interferenz auf der Aufmerksamkeitsebene aufgebracht wird.

Der Vergleich des Oddball-Effekts in den beiden Affektbedingungen macht somit deutlich, dass nach negativ-erregender Affektinduktion ein deutlicher quantitativer Unterschied zu vermerken ist im Sinne einer stärkeren Rekrutierung von Arealen, die mit Aufmerksamkeitsprozessen und exekutiver Kontrolle assoziiert sind. Diese Beobachtung wird zusätzlich durch den Vergleich der Reaktionszeitunterschiede unterstützt, welche tendenziell einen stärkeren Oddball-Effekt nach negativ-erregender Affektinduktion erkennen ließen. Insofern lässt sich ähnlich wie in der Inkongruenz-Bedingung schlussfolgern, dass ein negativ-erregender Affektzustand die Interferenz durch einen Oddball-Stimulus verstärkt.

### **5.2.3 Kongruenz-Effekt**

#### **5.2.3.1 Kongruenz-Effekt auf Verhaltensebene**

Die Auswertung der Fehlerhäufigkeiten und der Reaktionszeiten ergab einen deutlichen Kongruenz-Effekt in beiden Emotionsbedingungen. Sowohl nach neutraler als auch nach negativ-erregender Affektinduktion wurden nach kongruenten Trials signifikant weniger Fehler und kürzere Reaktionszeiten als bei Baseline-Trials beobachtet. Dieser Fazilitationseffekt steht in Einklang mit zahlreichen Ergebnissen anderer Untersuchungen, welche ebenfalls eine Beeinflussung von Verhaltensparametern in dieser Richtung verzeichnen konnten (Egner & Hirsch, 2005; MacLeod, 1991; Milham & Banich, 2005; Van Veen et al., 2005). Insofern entsprechen die Ergebnisse aus der Kongruenz-Bedingung den Erwartungen, so dass man davon ausgehen kann, dass entsprechende kognitive Prozesse von Stroop-Kongruenz (vgl. [2.1.2.1.1](#)) mit dem vorliegenden Paradigma adäquat induziert werden konnten.



Weiterhin ging aus der Reaktionszeitanalyse ein Interaktionseffekt im Sinne stärkerer Fazilitation nach negativ-erregender Affektinduktion hervor. Interaktionseffekte zwischen den Faktoren Affekt und Kognition zeigten sich, wie bereits mehrfach erwähnt, auch in anderen Untersuchungen mit ähnlichen Fragestellungen (vgl. [2.3.1](#)). Allerdings konzentrierten sich bisherige Studien zu diesem Thema meist auf den Aspekt stärkerer Interferenz durch negativ-valentes Stimulusmaterial, und zeigten signifikante Reaktionszeitverlängerungen bei kognitiven Aufgaben, wenn diese mit negativer Affektinduktion assoziiert waren (Compton & Banich, 2003; Dreisbach, 2006; Pratto & John, 1991; Smith Erthal et al., 2005). Jedoch konnten Untersuchungen, welche lediglich die motorische Reaktionsbereitschaft auf einen Stimulus maßen, zeigen, dass ein negativer Affektzustand in diesem Zusammenhang mit einer Reaktionszeitverkürzung assoziiert war (Coombes et al., 2005; Tipples & Sharma, 2000). Die Gesamtheit der Befunde legt somit die Vermutung nahe, dass negativ-valente Stimuli bei komplexeren Aufgaben, die ein höheres Maß an kognitiver Kontrolle verlangen, zu einer zusätzlichen Interferenz führen, dass aber umgekehrt Prozesse, welche relativ automatisch ablaufen, unter dem Einfluss eines negativ-erregenden Affektzustands beschleunigt werden.

### **5.2.3.2 Neuronale Korrelate des Kongruenz-Effekts**

#### ***5.2.3.2.1 Neuronale Korrelate des Kongruenz-Effekts nach neutraler Affektinduktion***

Nach neutraler Affektinduktion findet sich im Zusammenhang mit kongruenten Wortstimuli ein Aktivierungsmuster, welches auf Prozesse der Aufmerksamkeitssteuerung, der Sprachverarbeitung sowie motorischer Regulation hinweist.

Anhaltspunkte für verstärkte Aufmerksamkeitsprozesse bei kongruenten Stimuli ergeben sich aus der Aktivierung von Arealen, welche der Verarbeitung visueller Informationen dienen: In diesem Zusammenhang wurden Aktivierungen des posterioren und medialen Okzipitalkortex gefunden, sowie des rechten posterioren Temporalkortex, welcher als Teil des ventralen visuellen Pfads mit komplexerer visueller Objektverarbeitung befasst ist (vgl. [2.2.1.2](#)). Eine Aktivierung des linken temporo-parietalen Assoziationskortex, welche auch das TPJ Areal involviert, steht wahrscheinlich ebenfalls im Dienste eines bottom-up gerichteten Aufmerksamkeitsprozesses (Corbetta & Schulman, 2002). Ein kongruenter Wortstimulus scheint demnach im Vergleich zu einem neutralen Baseline-Stimulus mehr Aufmerksamkeit zu erregen.

Darüberhinaus ergeben sich Anhaltspunkte für eine ausgeprägtere Verarbeitung der semantischen Wortdimension: Zum einen wurde eine Aktivierung im ventralen Bereich des linken Gyrus frontalis inferior gefunden. Eine Beteiligung des inferioren präfrontalen Kortex an der Sprachverarbeitung wurde bereits mehrfach in bildgebenden Untersuchungen zu diesem Thema gezeigt (Joseph et al., 2001; Tagamets et al., 2000). Der ventrale Anteil dieses Bereichs wurde dabei insbesondere mit semantischen und lexikalischen Verarbeitungsprozessen in Verbindung gebracht (Bokde et al., 2001; Chein et al., 2002; Melcher & Gruber, 2006). Zum anderen zeigte sich eine weitere Aktivierung im Bereich des linken posterioren temporalen Kortex, welche ebenfalls im Kontext der Sprachverarbeitung interpretierbar ist. Diese Region weist eine starke Konnektivität auf mit dem ventralen Gyrus frontalis inferior (Bokde et al., 2001). Entsprechend wird sie ebenfalls in Zusammenhang gebracht mit semantischen Aspekten der Sprachverarbeitung (Fiebach et al., 2002; Tagamets et al., 2000; Joseph et al., 2001; Gold et al., 2006). Die Darbietung eines kongruenten Wortstimulus scheint demnach zu einer residuellen semantischen Verarbeitung der irrelevanten Wortdimension zu führen (Melcher & Gruber 2006).

Schließlich führte die Verarbeitung des kongruenten Stimulus zur Rekrutierung von Arealen, welche mit motorischen Handlungs- und Kontrollvorgängen in Verbindung gebracht werden. Dies betrifft zum einen das supplementär motorische Areal (SMA), welches an der Vorbereitung und Durchführung von Bewegungen beteiligt zu sein scheint (Cunnington et al., 2006; Kanasaku et al., 2005; Martuzzi et al., 2006). Zum anderen zeigten sich Aktivierungen im Bereich des motorischen und prämotorischen Kortex, nämlich entlang des linken Sulcus centralis und im rechten Gyrus präcentralis. Im Zusammenhang mit der Emotionsverarbeitung wurde bereits auf Funktionen des motorischen Kortex eingegangen, welche über die unmittelbare Bearbeitung von motorischen Efferenzen hinausgehen und unter anderem der Vorstellung einer geeigneten motorischen Reaktion auf einen Stimulus dienen (Schubotz et al., 2003) (vgl. [5.1.3](#)). Schließlich fanden sich auch Aktivierungen in zwei subkortikalen Kerngebieten, nämlich im Putamen als Teil der Basalganglien sowie im Thalamus. Von den Basalganglien wird angenommen, dass sie eine herausragende Rolle für die Steuerung der Motorik haben. Im Thalamus, der als „Tor zum Neokortex“ gilt, werden die meisten afferenten Neurone, aber auch die Faserbündel aus den Basalganglien auf ihrem Weg zum Kortex zwischengeschaltet (Trepel, 2004). Dabei scheinen diese Strukturen auch einen modulierenden Einfluss auf die Verhaltensanpassung im Rahmen von kognitiven Kontrollprozessen zu haben: Es konnte gezeigt werden, dass der Regelkreis aus Basalganglien und Thalamus den Informationsfluss von kortikalen Assoziationsarealen zu motorischen

Kortexarealen beeinflussen kann (Ullsperger & von Cramon, 2006). Die Berücksichtigung aller genannten motorischen Prozesse legt die Vermutung nahe, dass ein kongruenter Wortstimulus eine verstärkte motorische Reaktionsbereitschaft hervorruft, welche auf unterbewusster Ebene durch subkortikale Kernareale modulierend beeinflusst wird.

#### ***5.2.3.2 Neuronale Korrelate des Kongruenz-Effekts nach negativ-erregender Affektinduktion***

Ebenso wie nach neutraler Affektinduktion liegen auch nach negativ-erregender Affektinduktion Anhaltspunkte für eine Beteiligung aufmerksamkeitsassoziierter Hirnareale vor. Dabei waren im wesentlichen die gleichen Areale involviert, wie nach neutraler Affektinduktion, wenn auch mit verschobenen Foki. Zusätzlich fand sich auch eine Beteiligung des rechten TPJ Areals sowie weiterer posteriorer medianer Kortexareale, was darauf hindeutet, dass die Aufmerksamkeitsreaktion auf einen kongruenten Wortstimulus durch einen negativ-erregenden Affektzustand möglicherweise verstärkt und ausgeweitet wird.

Weiterhin zeigten sich Aktivierungen in sprachverarbeitenden Kortexarealen, welche denen nach neutraler Affektinduktion sehr ähnlich waren, wiederum mit einer leichten Verschiebung der Foki. Davon abgesehen waren aber bezüglich der sprachverarbeitenden Prozesse keine Unterschiede zwischen den beiden Affektbedingungen zu verzeichnen.

Deutliche Veränderungen nach negativ-erregender Affektinduktion waren jedoch im Bereich des präfrontalen Kortex zu finden. Zum einen zeigten sich relativ starke Aktivierungen im Bereich des anterioren frontomedianen Kortex mit Foki im sub- und perigenualen Anteil des ACC sowie auf Höhe des Frontalpol. Aktivierungen in diesen Teilen des ACC wurden bislang insbesondere im Rahmen der Verarbeitung emotionaler Aspekte beobachtet (Bush et al., 2000). Auch der Frontalpol wurde mit emotionalen Bewertungsprozessen in Zusammenhang gebracht (Cunningham et al., 2004). Allerdings konnte auch bei kognitiven Aufgaben eine Beteiligung weiter anterior gelegener ACC Abschnitte beobachtet werden, welche auf die affektive Komponente beim Auftreten von Konflikt zurückgeführt wurden (Milham & Banich, 2005). Gemäß der Vorstellung dieser Autoren mag ein kongruenter Wortstimulus, welcher während eines negativ-erregenden Affektzustands dargeboten wird, ein emotionales konfliktassoziertes Moment beinhalten und einer verstärkten Kontrollanstrengung bedürfen.

Zweitens wurde eine Reihe von Aktivierungen im Bereich des lateralen präfrontalen Kortex gefunden, welche im Zusammenhang mit task-set Management Prozessen stehen können. Auch die Aktivierungen im Bereich der Gyri frontalis superior sind in diesem Zusammenhang zu nennen: Da Aktivierungen in diesem Bereich häufiger im Rahmen von Oddball-Paradigmen gefunden wurden, sind diese möglicherweise als präfrontale Komponente des ventralen frontoparietalen Aufmerksamkeitsnetzwerks anzusehen (Amso et al., 2005; Casey et al., 2001; Clark et al., 2000; Davidson et al., 2004).

Schließlich zeigte sich eine Beteiligung posteriorer frontomedianer Kortexabschnitte mit einem Fokus in der prä-SMA. Im Gegensatz zum SMA steht die prä-SMA stärker im Zusammenspiel mit präfrontalen und parietalen Kortexarealen und hat eine stärker kontrollierende und koordinierende Funktion inne (Johansen-Berg et al., 2004; Kanasaku 2005). In diesem Sinne könnte seine Aktivierung eine verstärkte motorische Kontrollanstrengungen widerspiegeln (Melcher & Gruber, 2006).

#### ***5.2.3.2.3 Der Einfluss negativ-erregender Affektinduktion auf die Aktivität affektverarbeitender Hirnareale während der Darbietung von Stroop-Kongruenz***

Wie schon in der Inkongruenz-Bedingung zeigte sich auch in der Kongruenz-Bedingung ein Interaktionseffekt mit signifikant stärkeren Deaktivierungen in der rechten Amygdala sowie im somatosensorischen Kortex durch einen kongruenten Stimulus nach negativ-erregender Affektinduktion. Diese beiden Areale spielten eine Rolle bei der Verarbeitung der negativ-erregenden IAPS-Bilder (vgl. [5.1.1](#) und [5.1.3](#)). Somit ergibt sich auch aus der Kongruenz-Bedingung ein Hinweis auf Reziprozität zwischen emotionalen und affektiven Verarbeitungsarealen. Die Diskussion dieses Sachverhalts erfolgt an späterer Stelle (s. [5.3.1.2](#)).

#### **5.2.3.3 Zusammenfassung: Kongruenz-Effekte nach neutraler und nach negativ-erregender Affektinduktion**

Zusammen genommen liefern die Analysen der Verhaltensdaten und der funktionellen Kernspinbilder folgendes Bild bzgl. der Verarbeitungsmechanismen für einen kongruenten Stimulus nach negativ-erregender vs. neutraler Affektinduktion:

Nach neutraler Affektinduktion konnte zum einen ein deutlicher Kongruenz-Effekt im Sinne einer Fazilitation auf Verhaltensebene gezeigt werden. Auf neuronaler Ebene zeigten sich Zeichen einer residuellen semantischen Wortverarbeitung und verstärkter Aufmerksamkeitsprozesse. Weiterhin wurden Anzeichen einer verstärkten motorischen Reaktionsbereitschaft gefunden, welche möglicherweise das neuronale Korrelat des gefundenen Fazilitationseffekts darstellen.

Nach negativ-erregender Affektinduktion zeigten die Verhaltensdaten ebenfalls einen stark ausgeprägten Fazilitationseffekt an. Auf neuronaler Ebene konnten Hinweise dafür gefunden werden, dass die Verarbeitung des kongruenten Stimulus nach negativ-erregender Affektinduktion im stärkeren Maße mit Aufmerksamkeitsprozessen assoziiert war als nach neutraler Affektinduktion. Außerdem wurden Aktivierungen in medialen und lateralen präfrontalen Kortexarealen gefunden, welche möglicherweise verstärkte Kontrollanstrengungen widerspiegeln.

Der Vergleich des Kongruenz-Effekts in beiden Affektbedingungen macht schließlich folgendes deutlich: Die Verhaltensdaten zeigen, dass nach negativ-erregender Affektinduktion tendenziell ein ausgeprägterer Fazilitations-Effekt vorliegt. Auf neuronaler Ebene bewirkt ein negativ-erregender Affektzustand eine verstärkte Rekrutierung fronto-parietaler Aufmerksamkeitsnetzwerke. Dabei scheint der Verarbeitungsprozess zunehmend unter präfrontaler Kontrolle zu stehen. Auch Zeichen einer verstärkten motorischen Kontrollanstrengung wurden beobachtet. Unter Rückgriff auf die Verhaltensdaten lässt sich die Vermutung aufstellen, dass die beobachteten neuronalen Prozesse nicht im Sinne verstärkter Interferenz durch negativ-erregende Affektinduktion zu interpretieren sind, sondern dass diese wahrscheinlich vielmehr Grundlage des behavioralen Fazilitationseffektes sind.

### ***5.3 Allgemeine Diskussion zum Einfluss negativ-erregender Affektzustände auf neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle***

#### **5.3.1 Zusammenfassende Bewertung der Befundlage**

Die Darbietung negativ-erregender IAPS-Bilder führte zur Auslösung neuronaler emotionsverarbeitender Prozesse. Dafür war insbesondere die Beteiligung der Amygdala als

Repräsentant einer subkortikalen Affektverarbeitung kennzeichnend (Das et al., 2005). Auf kortikaler Ebene konnten starke Aktivierungen visueller Verarbeitungsareale im Rahmen der Präsentation negativ-erregender Stimuli gezeigt werden. Diese Aktivierung spiegeln das Ausmaß der Aufmerksamkeit auf einen visuellen Stimulus wider (Pessoa & Ungerleider, 2004; Lane et al., 1999). Die Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands war somit assoziiert mit einer starken Aufmerksamkeitsausrichtung auf den emotionalen Stimulus.

Die Bedingungen der Stroop-Oddball-Aufgabe zeigten nach neutraler Affektinduktion insgesamt schwache Ergebnisse. Zum einen waren meist nur kleine Cluster aktiviert, welche teilweise das Clusterkriterium von mindestens 10 Voxeln verfehlten. Zum anderen fehlte die Beteiligung einiger Areale, deren Aktivität aufgrund ähnlicher Untersuchungen erwartet wurde (vgl. [2.4.2](#)). Da diese schwachen Effekte sich in allen Bedingungen zeigten, liegt der gemeinsame Grund möglicherweise in Abschirmungsprozessen: Da im Unterschied zu Vorstudien hier kein Aufgabenwechselparadigma („task-switching“) realisiert wurde, konnte möglicherweise eine vollständige Fokussierung auf die Farbdimension erfolgen, welche zu einer weitgehenden Ausblendung der semantischen Wortdimension geführt haben könnte. Zusätzlich ist in Erwägung zu ziehen, dass Wortstimuli möglicherweise relativ schwache Oddball-Stimuli darstellen und nur eine residuelle Orientierungsreaktion hervorzurufen vermögen (Melcher & Gruber, in press). Trotz dieser schwachen Ergebnisse liegen jedoch genügend Anhaltspunkte für die Annahme vor, dass die wesentlichen kognitiven Prozesse in allen drei Bedingungen induziert wurden.

Die Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands führte zu folgenden Veränderungen der Aktivierungsmuster, die mit Prozessen kognitiver Kontrolle assoziiert sind:

#### **5.3.1.1 Verstärkung kognitiver Kontrollprozesse durch einen negativ-erregenden Affektzustand**

Nach negativ-erregender Affektinduktion traten die Prozesse, welche schon nach neutraler Affektinduktion erwartet wurden, sehr deutlich zu tage. Die neuronalen Korrelate der jeweiligen kognitiven Prozesse, welche mit einer bestimmten Bedingung assoziiert sind, zeigten in allen Fällen deutlich stärkere und ausgedehntere Aktivierungen. Ein negativ-erregender Affektzustand scheint demnach oben angeführte Abschirmungsprozesse durchbrechen zu können (vgl. [5.3.1](#)). Gleichzeitig führt ein negativ-erregender Affektzustand in allen Bedingungen zu einem gesteigerten Ausmaß kognitiver Kontrolle. Dies ist auch in der

weniger konflikträchtigen Kongruenz-Bedingung der Fall. Allerdings sind die meisten der beobachteten quantitativen Veränderungen durch einen negativ-erregenden Affektzustand lediglich tendenzieller Natur. Signifikant waren diese Mehraktivierungen lediglich in einigen wenigen Arealen (vgl. [4.2.2.3.2](#), [4.2.3.3.2](#), [4.2.4.3.2](#)).

### **5.3.1.2 Nachfolgende Suppression der Affektverarbeitung durch kognitive Kontrollprozesse: Anhaltspunkte für Reziprozität**

In den Bedingungen Inkongruenz und Kongruenz ergaben sich schließlich signifikante Interaktionseffekte, welche auf Deaktivierungsprozesse emotionsverarbeitender Areale während der kognitiven Aufgabe zurückzuführen waren, wenn zuvor eine negativ-erregende Emotion induziert worden war. Dieser Effekt könnte zum einen durch physiologische Deaktivierungsprozesse von Arealen, welche zuvor stark aktiviert waren, zustande kommen. Dagegen spricht das Fehlen eines solchen Effekts in der Oddball-Bedingung. Damit rückt die Vorstellung einer reziproken Suppression in den Vordergrund (Drevets & Raichle, 1998). Es wird angenommen, dass Areale, welche eine Rolle bei der Emotionsverarbeitung spielen, im Zusammenhang mit kognitiven Aktivierungsprozessen supprimiert werden (vgl. [2.3.2](#)). In der vorliegenden Studie scheint dies insbesondere für die rechte Amygdala der Fall zu sein: Die rechte Amygdala zeigte eine starke Reaktion auf die negativ-erregenden IAPS-Stimuli, und wurde ferner sowohl durch nachfolgende inkongruente als auch durch nachfolgende kongruente Stimuli stärker deaktiviert. Dieses Ergebnis liefert einen starken Anhaltspunkt dafür, dass hier ein reziprokes Verhältnis zwischen emotionalen und kognitiven Verarbeitungsarealen vorliegt: Einerseits scheint eine stärkere Rekrutierung emotionaler Verarbeitungsareale durch die Induktion eines negativ-erregenden Affektzustands nachfolgend zu einer stärkeren Beteiligung kognitiver Kontrollareale zu führen. Andererseits ist die verstärkte Aktivierung dieser Kontrollareale möglicherweise mit einer Suppression emotionsverarbeitender Areale assoziiert.

### **5.3.2 Ein integratives Modell des Einflusses negativ-erregender**

#### **Affektzustände auf neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle**

Die Verarbeitung eines negativ-erregenden emotionalen Stimulus erfordert in hohem Maß Aufmerksamkeit und beansprucht Verarbeitungsressourcen (Lane et al., 1999; Pessoa & Ungerleider, 2004). Wenn in diesem emotionalen Rahmen zusätzlich kognitive Prozesse geleistet werden sollen, kommt es zu Interferenz auf neuronaler Ebene: Die Verarbeitung des

negativ-erregenden affektiven Stimulus und die kognitiven Prozesse, welche für die Bearbeitung einer Aufgabe geleistet werden müssen, konkurrieren um Aufmerksamkeits- und Verarbeitungsressourcen (Pessoa & Ungerleider, 2004).

Da zunächst der affektive Stimulus dargeboten wurde, wird die Aufmerksamkeit von der kognitiven Aufgabe abgelenkt und das Ausmaß an Kontrolle über die Aufgabe sinkt. Da im vorliegenden Fall aber der nachfolgende Wortstimulus den verhaltensrelevanten Reiz beinhaltet, muss eine Refokussierung auf die Anforderungen der Aufgabe erfolgen und erneut ein Zustand kognitiver Kontrolle aufgebaut werden, was in besonderem Maße für die in diesem Experiment verwirklichten Interferenzbedingungen gilt. In diesem Zusammenhang spielt die Rekrutierung lateraler präfrontaler Kortexareale bzw. frontoparietaler Aufmerksamkeitsnetzwerke eine besondere Rolle (Compton & Banich, 2003; Corbetta & Schulman, 2002).

Diese verstärkten kognitiven Verarbeitungsprozesse gehen mit der Suppression zentraler affektverarbeitender Areale wie der Amygdala einher (Drevets & Raichle, 1998). Möglicherweise wird durch diesen Mechanismus die Konkurrenz um Verarbeitungsressourcen zugunsten der kognitiven Prozesse entschieden und der störende Einfluss gleichzeitig ablaufender affektiver Verarbeitungsprozesse vermindert.

Ein negativ-erregender Affektzustand auf neuronaler Ebene führt somit erstens zu einer Verstärkung von task-set Management Prozessen, wenn diese bei einer nachfolgenden Aufgabe benötigt werden, und zweitens zu einer reziproken Suppression emotionsrelevanter Areale durch kognitive Kontrollareale. Für die Koordination dieser Prozesse kommt wahrscheinlich dem medialen präfrontalen Kortex eine besondere Rolle zu (Wager et al., 2005): Diese Hirnregion ist sowohl mit emotionalen als auch mit kognitiven Verarbeitungsarealen aufs engste verknüpft (Bush et al., 2000; De Marco et al., 2006). Der mediale präfrontale Kortex integriert emotionale und kognitive neuronale Prozesse (Raichle et al., 2001) und ist erstens mit der Suppression der Amygdala-Antwort (Hariri et al., 2003) und zweitens mit der verstärkten Rekrutierung exekutiver Kontrollareale assoziiert (Wager et al., 2005).

### **5.3.3 Grenzen**

Die Vorstellung dieses integrativen Modells ergibt sich aus einer zusammenfassenden Beurteilung der Befundlage aus der Literatur sowie der Ergebnisse der vorliegenden Studie.



Letzere stellt für sich allein genommen jedoch nur eine schwache Bestätigung dieses Modells dar. Insbesondere sind die vorliegenden Ergebnisse bezüglich frontomedianer Aktivierungen zu schwach, um die postulierte Rolle dieser Region als integrierendes Areal zu unterstützen. Daher bedarf es mit Sicherheit weiterer Untersuchungen, welche insbesondere das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten dieses Modells erleuchten.

Eine weitere Einschränkung der gewonnenen Schlüsse ergibt sich aus der Methode der Affektinduktion. Da in der vorliegenden Studie global der Einfluss negativ-erregender Affektzustände untersucht wurde, liegt eine Konfundierung der beiden Emotionsdimensionen Valenz und Erregung vor. Auch eine Aussage zum Einfluss unterschiedlicher negativer Basisemotionen ist aus den gewonnenen Daten nicht möglich. Es bleibt demnach zu untersuchen, welchen Beitrag die einzelnen Dimensionen und Emotionen an dem globalen Einfluss eines negativ-erregenden Affektzustands haben.

## **5.4 Ausblick**

### **5.4.1 Konnektivitätsanalysen**

Zur weitergehenden Untersuchung des Zusammenspiels der affektiven und kognitiven Verarbeitungselemente könnten Konnektivitätsanalysen einen wichtigen Beitrag leisten. Zum einen könnte man aus Korrelationen frontomedianer Kortexareale sowohl mit der Amygdala als auch mit lateralen präfrontalen und parietalen Arealen weitere Erkenntnisse über die Bedeutung des medianen präfrontalen Kortex in dem vorgeschlagenen integrativen Modell gewinnen. Zum anderen bietet sich aber auch eine direkte Analyse der Konnektivität zwischen Amygdala und lateralen präfrontalen Bereichen an, da auch ein direkter Zusammenhang zwischen diesen beiden Arealen denkbar ist. Die zusätzliche Berücksichtigung des Faktors „delay“ könnte möglicherweise Rückschlüsse zulassen über den Zeitverlauf von Interaktionsprozessen. Schließlich bedarf es jedoch sicherlich noch weiterer bildgebender Untersuchungen, um Sicherheit über die neuronalen Prozesse einer affektiven Beeinflussung von kognitiven Mechanismen gewinnen zu können.

### **5.4.2 Implikationen für die Klinik**

Bei zahlreichen psychiatrischen Krankheitsbildern wurden Zusammenhänge zwischen affektiven und kognitiven Defiziten beobachtet (vgl. [2.1.3.2](#)). Es bleibt zu untersuchen, ob bei diesen Erkrankungen möglicherweise Veränderungen innerhalb des vorgeschlagenen affektiv-

kognitiven Netzwerks vorliegen. Die Identifikation gestörter Prozesse könnte die Basis für zukünftige interventionelle Maßnahmen bilden.

## 6 Literaturverzeichnis

Ackermann, H., Riecker, A. (2004). The contribution of the insula to motor aspects of speech production: A review and a hypothesis. *Brain and Language*, 89, 320-328.

Adolphs, R., Damasio, H., Tranel, D., Cooper, G., Damasio, A. R. (2000). A Role for Somatosensory Cortices in the Visual Recognition of Emotion as Revealed by Three-Dimensional Lesion Mapping. *The Journal of Neuroscience*, 20 (7), m2683-2690.

Alario, F.-X., Chainay, H., Lehericy, S., Cohen, L. (2006). The role of the supplementary motor area (SMA) in word production. *Brain Research*, 1076, 129-143.

Amso, D., Davidson, M. C., Johnson, S. P., Glover, G., Casey, B. J. (2005). Contributions of the hippocampus and the striatum to simple association and frequency-based learning. *Neuroimage*, 27, 291-298.

Amunts, K., Palomero-Gallagher, N., Brass, M., Derrfuss, J., Zilles, K., von Cramon, D. Y. (2004). A receptor- and cytoarchitectonic correlate of the functionally defined inferior-frontal junction area. *Neuroimage* 22 (suppl.), 50.

Anders, S., Lotze, M., Erb, M., Grodd, W., Birbaumer, N. (2004). Brain Activity Underlying Emotional Valence and Arousal: A Response-Related fMRI Study. *Human Brain Mapping* 23, 200-209.

Anderson, A. K., Sobel, N. (2003). Dissociating Intensity from Valence as Sensory Inputs to Emotion. *Neuron*, 39 (4), 581-583.

Astafiev, S. V., Shulman, G. L., Stanley, C. M., Snyder, A. Z., Van Essen, D. C., Corbetta, M. (2003). Functional Organization of Human Intraparietal and Frontal Cortex for Attending, Looking, and Pointing. *The Journal of Neuroscience*, 23 (11), 4689-4699.

Aylward, E. H., Park, J. E., Field, K. M., Parsons, A. C., Richards, T. L., Cramer, S. C., Meltzoff, A. N. (2005). Brain Activation during Face Perception: Evidence of a Developmental Change. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (2), 308-319.

Banich, M. T., Milham, M. P., Atchley, R. A., Cohen, N. J., Webb, A., Wszalek, T., Kramer, A. F., Liang, Z.-P., Barad, V., Gullett, D., Shah, C., Brown, C. (2000b). Prefrontal regions play a predominant role in imposing an attentional 'set': evidence from fMRI. *Cognitive Brain Research*, 10, 1-9.

Banich, M. T., Milham, M. P., Atchley, R., Cohen, N. J., Webb, A., Wszalek, T., Kramer, A. F., Liang, Z.-P., Wright, A., Shenker, J., Magin, R. (2000a). fMRI Studies of Stroop Tasks Reveal Unique Roles of Anterior and Posterior Brain Systems in Attentional Selection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (6), 988-1000.

Behrmann, M., Geng, J. J., Shomstein, S. (2004). Parietal cortex and attention. *Current opinion in neurobiology*, 14, 212-217.

Berthoz, S., Blair, R. J. R., Le Chec'h, G., Martinot, J.-L. (2002). Emotions : From neuropsychology to functional imaging. *International Journal of Psychology*, 37 (4), 193-203.

- Bledowski, C., Prvulovic, D., Hoechstetter, K., Scherg, M., Wibral, M., Goebel, R., Linden, D. E. J. (2004b). Localizing P300 Generators in Visual Target and Distractor Processing: A Combined Event-Related Potential and Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience*, 24 (42), 9353-9360.
- Bledowsky, C., Prvulovic, D., Goebel, R., Zanella, F. E., Linden, D. E. J. (2004a). Attentional systems in target and distractor processing: a combined ERP and fMRI study. *Neuroimage*, 22, 530-540.
- Bogerts, B. (2005). Bedeutung der Frontallappen für die Pathophysiologie schizophrener Erkrankungen. In: Förstl, H. (ed) *Frontalhirn. Funktionen und Erkrankungen*. Springer, Heidelberg, pp 213- 232.
- Bokde, A. L. W., Tagamets, M.-A., Friedman, R. B., Horwitz, B. (2001). Functional Interactions of the Inferior Frontal Cortex during the Processing of Words and Word-like Stimuli. *Neuron*, 30, 609-617.
- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Neuroscience*, 8 (12), 539-546.
- Botvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402, 179-181.
- Brass, M., Derrfuss, J., Forstmann, B., von Cramon, D. Y. (2005a). The role of the inferior frontal junction area in cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (7), 314-316.
- Brass, M., Ullsperger, M., Knoesche, T. R., von Cramon, D. Y., Philipps, N. A. (2005b). Who comes first? The Role of the Prefrontal and Parietal Cortex in Cognitive Control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (9), 1367-1375.
- Brass, M., von Cramon, D. Y. (2002). The Role of the Frontal Cortex in Task Preparation. *Cerebral Cortex*, 12, 908-914.
- Brass, M., von Cramon, D. Y. (2004). Decomposing Components of Task Preparation with Functional Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16 (4), 609-620.
- Braver, T. S., Barch, D. M., Gray, J. R., Molfese, D. L., Snyder, A. (2001). Anterior Cingulate Cortex and Response Conflict: Effects of Frequency, Inhibition and Errors. *Cerebral Cortex*, 11, 825-836.
- Britton, J. C., Phan, K. L., Taylor, S. F., Welsh, R. C., Berridge, K. C., Liberzon, I. (2006b). Neural correlates of social and nonsocial emotions: An fMRI study. *Neuroimage*, 31, 397-409.
- Britton, J. C., Taylor, S. F., Sudheimer, K. D., Liberzon, I. (2006a). Facial expressions and complex IAPS pictures: common and differential networks. *Neuroimage*, 31, 906-919.
- Bush, G., Luu, P., Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol 4 (6).

- Calder, A. J., Lawrence, A. D., Young, A. W. (2001). Neuropsychology of fear and loathing. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 352-363.
- Calhoun, V. D., Adali, T., Giuliani, N. R., Pekar, J. J., Kiehl, K. A., Pearlson, G. D. (2006). Method for Multimodal Analysis of Independent Source Differences in Schizophrenia: Combining Gray Matter Structural and Auditory Oddball Functional Data. *Human Brain Mapping*, 27, 47-62.
- Canli, T., Desmond, J. E., Zhao, Z., Glover, G., Gabrieli, J. D. E. (1998). Hemispheric asymmetry for emotional stimuli detected with fMRI. *Neuroreport*, 9, 3233-3239.
- Carretié, L., Hinojosa, J. A., Martín-Loeches, M., Mercado, F., Tapia, M. (2004). Automatic Attention to Emotional Stimuli: Neural Correlates. *Human Brain Mapping*, 22, 290-299.
- Carter, C. S., Botvinick, M. M., Cohen, J. D. (1999). The Contribution of the Anterior Cingulate Cortex to Executive Processes in Cognition. *Reviews in the Neurosciences*, 10, 49-57.
- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., Cohen, J. D. (1998). Anterior Cingulate Cortex, Error Detection, and the Online Monitoring of Performance. *Science*, 280, 747-749.
- Carter, C. S., Macdonald, A. M., Botvinick, M., Ross, L. L., Stenger, V. A., Noll, D., Cohen, J. D. (2000). Parsing executive processes: Strategic vs. evaluative functions of the anterior cingulate cortex. *PNAS*, 97 (4), 1944-1948.
- Casey, B. J., Forman, S. D., Franzen, P., Berkowitz, A., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Thomas, K. M., Noll, D. C. (2001). Sensitivity of Prefrontal Cortex to Changes in Target Probability: A Functional MRI Study. *Human Brain Mapping*, 13, 26-33.
- Chein, J. M., Fissell, K., Jacobs, S., Fiez, P. A. (2002). Functional heterogeneity within Broca's area during verbal working memory. *Physiology & Behavior*, 77, 635-639.
- Clark, V. P., Fannon, S., Lai, S., Benson, R., Bauer, L. (2000). Responses to Rare Visual Target and Distractor Stimuli Using Event-Related fMRI. *J Neurophysiol.*, 83, 3133-3139.
- Compton, R. J., Banich, M. T., et al. (2003). Paying attention to emotion: An fMRI investigation of cognitive and emotional Stroop tasks. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3 (2), 81-96.
- Coombes, S. A., Janelle, C. M., Duley, A. R. (2005). Emotion and Motor Control : Movement Attributes Following Affective Picture Processing. *Journal of Motor Behavior*, 37 (6), 425-436.
- Corbetta, M., Kincade, J. M., Ollinger, J. M., McAvoy, M. P., Schulman, G. L. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 3 (3), 292-297.
- Corbetta, M., Schulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews neuroscience*, 3, 201-215.

- Cunningham, W. A., Raye, C. L., Johnson, M. K. (2004). Implicit and Explicit Evaluation: fMRI Correlates of Valence, Emotional Intensity, and Control in the Processing of Attitudes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16 (10), 1717-1729.
- Cunnington, R., Windischberger, C., Robinson, S., Moser, E. (2006). The selection of intended actions and the observation of others' actions: A time-resolved fMRI study. *Neuroimage*, 29, 1294-1302.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn*. List, München.
- Damasio, A. R., Grabowski, T. J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L. L. B., Parvizi, J., Hichwa, R. D. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience*, 3 (10), 1049-1056.
- Das, P., Kemp, A. H., Liddell, B. J., Brown, K. J., Olivieri, G., Peduto, A., Gordon, E., Williams, L. M. (2005). Pathways of fear perception: Modulation of amygdala activity by thalamo-cortical systems. *Neuroimage*, 26, 141-148.
- Davidson, M. C., Horvitz, J. C., Tottenham, N., Fossella, J. A., Watts, R., Ulug, A. M., Casey, B. J. (2004). Differential cingulate and caudate activation following unexpected nonrewarding stimuli. *Neuroimage*, 23, 1039-1045.
- Davidson, R. J., Irwin, W. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cognitive Sciences*, 3 (1), 11-21.
- Davis, K. D., Taylor, K. S., Hutchison, W. D., Dostrovsky, J. O., McAndrews, M. P., Richter, E. O., Lozano, A. M. (2005). Human Anterior Cingulate Cortex Neurons Encode Cognitive and Emotional Demands. *The Journal of Neuroscience*, 25 (37), 8402-8406.
- De Marco, G., De Bonis, M., Vrignaud, P., Henry-Feugeas, M. C., Peretti, I. (2006). Changes in effective connectivity during incidental and intentional perception of fearful faces. *Neuroimage*, 30, 1030-1037.
- Derrfuss, J., Brass, M., Neumann, J., von Cramon, D. Y. (2005). Involvement of the Inferior Frontal Junction in Cognitive Control: Meta-Analyses of Switching and Stroop Studies. *Human Brain Mapping*, 25, 22-34.
- Derrfuss, J., Brass, M., von Cramon, D. Y. (2004). Cognitive control in the posterior frontolateral cortex: evidence from common activations in task coordination, interference control, and in working memory. *Neuroimage*, 23, 604-612.
- Dosenbach, N. U. F., Visscher, K. M., Palmer, E. D., Miezin, F. M., Wenger, K. K., Kang, H. C., Burgund, E. D., Grimes, A. L., Schlaggar, B. L., Peterson, S. E. (2006). A Core System for the Implementation of Task Sets. *Neuron*, 50, 799-812.
- Dreisbach, G. (2006). How positive affect modulates cognitive control: The costs and benefits of reduced maintenance capability. *Brain and Cognition*, 60, 11-19.

- Drevets, W. C., Raichle, M. E. (1998). Reciprocal Suppression of Regional Cerebral Blood Flow during Emotional versus Higher Cognitive Processes: Implications for Interactions between Emotion and Cognition. *Cognition and Emotion*, 12 (3), 353-385.
- Duvernoy, H. M. (1999). *The Human Brain. Surface, 3-dimensional sectional anatomy with MRI, and blood supply*. 2nd completely revised and enlarged edition. Springer Wien New York.
- Eastwood, J. D., Smilek, D., Merikle, P. M. (2001). Differential attentional guidance by unattended faces expressing positive and negative emotion. *Perception and Psychophysics*, 63 (6), 1004-1013.
- Egner, T., Hirsch, J. (2005). The neural correlates and functional integration of cognitive control in a Stroop task. *Neuroimage*, 24, 539-547.
- Ekman, P. (1992). An Argument for Basic Emotions. *Cognition and Emotion*, 6 (3), 169-200.
- Ekman, P., Friesen, W. (1975). *Pictures of Facial Affect*. Palo Alto CA: Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P., Levenson, R. W., Friesen, W. V. (1983). Autonomic Nervous System Activity Distinguishes Among Emotions. *Science*, 221, 1208-1210.
- Feldman Barrett, L., Russell, J. A. (1999). The Structure of Current Affect: Controversies and Emerging Consensus. *Directions in Psychological Science*, 8 (1), 10-14.
- Fiebach, C. J., Friederici, A. D., Müller, K., von Cramon, D. Y. (2002). fMRI Evidence for Dual Routes to the Mental Lexicon in Visual Word Recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14 (1), 11-23.
- Fox, M. D., Corbetta, M., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Raichle, M. E. (2006). Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *PNAS*, 103 (26), 10046-10051.
- Friedman-Hill, S. R., Robertson, L. C., Desimone, R., Ungerleider, L. G. (2003). Posterior parietal cortex and the filtering of distractors. *PNAS*, 100 (7), 4263-4268.
- Fröhlich, W. D. (2000). *Wörterbuch Psychologie*. dtv, München.
- Gold, B. T., Balota, D. A., Jones, S. F., Powell, D. K., Smith, C. D., Andersen, A. H. (2006). Dissociation of Automatic and Strategic Lexical-Semantics: Functional Magnetic Resonance Imaging Evidence for Differing Roles of Multiple Frontotemporal Regions. *The Journal of Neuroscience*, 26 (24), 6523-5232.
- Goldstein, E. B. (2001). *Wahrnehmungspsychologie. Eine Einführung*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin Oxford.
- Gottwald, B., Wilde, B., Mihajlovic, Z., Mehdorn, H. M. (2004). Evidence for distinct cognitive deficits after focal cerebellar lesions. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 75, 1524-1531.

- Gray, J. R., Braver, T. S., Raichle, M. E. (2002). Integration of emotion and cognition in the lateral prefrontal cortex. *PNAS*, 99 (6), 4115-4120.
- Grimm, S., Schmidt, C. F., Bermpohl, F., Heinzl, A., Dahlem, Y., Wyss, M., Hell, D., Boesiger, P., Boeker, H., Northoff, G. (2006). Segregated neural representation of distinct emotion dimensions in the prefrontal cortex – an fMRI study. *Neuroimage*, 30, 325-340.
- Gruber, O., Arendt, T., von Cramon, D. Y. (2005). Neurobiologische Grundlagen. In: Förstl, H. (ed) *Frontalhirn. Funktionen und Erkrankungen*. Springer, Heidelberg, pp 15-40.
- Gruber, O., Goschke, T. (2004). Executive control emerging from dynamic interactions between brain systems mediating language, working memory and attentional processes. *Acta Psychologica* 115, 105-121.
- Gruber, O., Indefrey, P., Steinmetz, H., Kleinschmidt, A. (2001). Dissociating Neural Correlates of Cognitive Components in Mental Calculation. *Cerebral Cortex*, 11, 350-359.
- Gruber, O., Karch, S., Schlueter, E. K., Falkai, P., Goschke, T. (2006). Neural mechanisms of advance preparation in task switching. *Neuroimage*, 31, 887-895.
- Gruber, S. A., Rogowska, J., Yurgelun-Todd, D. A. (2004). Decreased activation of the anterior cingulate in bipolar patients: an fMRI study. *Journal of Affective Disorders*, 82, 191-201.
- Gündel, H., O'Connor, M.-F., Littrell, L., Fort, C., Lane, R. D. (2003). Functional Neuroanatomy of Grief : An fMRI Study. *Am J Psychiatry*, 160 (11), 1946-1953.
- Harenski, C. L., Hamann, S. (2006). Neural correlates of regulating negative emotions related to moral violations. *Neuroimage*, 30, 313-324.
- Hariri, A. R., Tessitore, A., Mattay, V. S., Fera, F., Weinberger, D. R. (2002). The Amygdala Response to Emotional Stimuli: A Comparison of Faces and Scenes. *NeuroImage* 17, 317-323.
- Hariri, A. R., Venkata, S. M., Tessitore, A., Fera, F., Weinberger, D. R. (2003). Neocortical Modulation of the Amygdala Response to Fearful Stimuli. *Biol Psychiatry*, 53, 494-501.
- Hartikainen, K. M., Ogawa, K. H., Knight, R. T. (2000). Transient interference of right hemispheric function due to automatic emotional processing. *Neuropsychologia*, 38, 1576-1580.
- Hazeltine, E., Poldrack, R., Gabrieli, J. D. E. (2000). Neural Activation During Response Competition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (suppl 2), 118-129.
- Heckers, S., Weiss, A. P., Deckersbach, T., Goff, D. C., Morecraft, R. J., Bush, G. (2004). Anterior Cingulate Cortex Activation During Cognitive Interference in Schizophrenia. *Am J Psychiatry*, 161 (4), 707-715.
- Heekeren, H. R., Marrett, S., Bandettini, P. A., Ungerleider, L. G. (2004). A general mechanism for perceptual decision-making in the human brain. *Nature*, 431, 859-862.



- Henn, V. (1994). Höhere Funktionen des Zentralnervensystems. In: Klinke, R., Silbernagl, S. (eds) *Lehrbuch der Physiologie*. Thieme, Stuttgart New York, 717-730.
- Herrington, J. D., Mohanty, A., Koven, N. S., Fisher, J. E., Stewart, J. L., Banich, M. T., Webb, A. G., Miller, G. A., Heller, W. (2005). Emotion-Modulated Performance and Activity in Left Dorsolateral Prefrontal Cortex. *Emotion*, 5 (2), 200-207.
- Huettel, S. A., McCarthy, G. (2004). What is odd in the oddball task? Prefrontal cortex is activated by dynamic changes in response strategy. *Neuropsychologia*, 42, 379-386.
- Hünerbein, R. (2004). Radiologische Verfahren. In: Reiser, M., Kuhn, F.-P., Debus, J. (eds) *Radiologie*. Thieme, Stuttgart, pp 67-96.
- Johansen-Berg, H., Behrens, T. E. J., Robson, M. D., Drobnjak, I., Rushworth, M. F. S., Brady, J. M., Smith, S. M., Higham, D. J., Matthews, P. M. (2004). Changes in connectivity profiles define functionally distinct regions in human medial frontal cortex. *PNAS*, 101 (36), 13335-13340.
- Joseph, J., Noble, K., Eden, G. (2001). The Neurobiological Basis of Reading. *Journal of learning disabilities*, 34 (6), 566-579.
- Kanasaku, K., Muraki, S., Umeyama, S., Nishimori, Y., Kochiyama, T., Yamane, S., Kitazawa, S. (2005). Cortical activity in multiple motor areas during sequential finger movements: An application of independent component analysis. *Neuroimage*, 28, 669-681.
- Kennedy, D. P., Redcay, E., Courchesne, E. (2006). Failing to deactivate: Resting functional abnormalities in autism. *Pnas*, 103 (21), 8275-8280.
- Kiehl, K. A., Laurens, K. R., Duty, T. L., Forster, B. B., Liddle, P. F. (2001b). Neural sources involved in auditory target detection and novelty processing: An event-related fMRI study. *Psychophysiology*, 38, 133-142.
- Kiehl, K. A., Laurens, K. R., Duty, T. L., Forster, B. B., Liddle, P. F. (2001a). An Event-Related fMRI Study of Visual and Auditory Oddball Tasks. *Journal of Psychophysiology*, 15, 221-240.
- Kiehl, K. A., Liddle, P. F., Hopfinger, J. B. (2000). Error processing and the rostral anterior cingulate: An event-related fMRI study. *Psychophysiology*, 37, 216-223.
- Kiehl, K. A., Stevens, M. C., Celone, K., Kurtz, M., Krystal, J. H. (2005). Abnormal Hemodynamics in Schizophrenia During an Auditory Oddball Task. *Biol Psychiatry*, 57, 1029, 1040.
- Kiehl, K. A., Stevens, M. C., Laurens, K. R., Pearlson, G., Calhoun, V. D., Liddle, P. F. (2005). An adaptive reflexive processing model of neurocognitive function: supporting evidence from a large scale (n=100) fMRI study of an auditory oddball task. *Neuroimage*, 25, 899-915.
- Killgore, W. D. S., Yurgelun-Todd, D. A. (2004). Activation of the amygdala and anterior cingulate during nonconscious processing of sad versus happy faces. *Neuroimage* 21, 1215-1223.

- Kirino, E., Belger, A., Goldman-Rakic, P., McCarthy, G. (2000). Prefrontal Activation Evoked by Infrequent Target and Novel Stimuli in a Visual Target Detection Task: An Event-Related Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience*, 20 (17), 6612-6618.
- Lane, R. D., Reiman, E. M., Bradley, M. M., Lang, P. J., Ahern, G. L., Davidson, R. J., Schwartz, G. E. (1997). Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia*, 35 (11), 1437- 1444.
- Lane, R. D., Chua, P. M.-L., Dolan, R. L. (1999). Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia*, 37, 989-997.
- Lane, R. D., Reiman, E. M., Axelrod, B., Yun, L.-S., Holmes, A., Schwartz, G. E. (1998). Neural Correlates of Levels of Emotional Awareness: Evidence of an Interaction between Emotion and Attention in the Anterior Cingulate Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10 (4), 525-535.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Cuthbert, B. N. (2005). International Affective Picture System (IAPS): Digitized photographs, instruction manual and affective ratings. Technical Report A-6. University of Florida, Gainesville, FL.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., Cuthbert, B. N., Scott, J. D., Moulder, B., Nangia, V. (1998). Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology*, 35, 199-210.
- Laurens, K. R., Kiehl, K. A., Liddle, P. F. (2005). A Supramodal Limbic-Paralimbic-Neocortical Network Supports Goal-Directed Stimulus Processing. *Human Brain Mapping*, 24, 35-49.
- Laurens, K. R., Kiehl, K. A., Ngan, E. T. C., Liddle, P. F. (2005). Attention orienting dysfunction during salient novel stimulus processing in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 75, 159-171.
- Levenson, R. W. (1999). The Intrapersonal Functions of Emotion. *Cognition and Emotion*, 13 (5), 481-504.
- Lim, S.-L., Kim, J.-H. (2005). Cognitive Processing of Emotional Information in Depression, Panic, and Somatoform Disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 114 (1), 50-61.
- Linden, D. E. J., Prvulovic, D., Formisano, E., Völlinger, M., Zanella, F. E., Goebel, R., Dierks, T. (1999). The Functional Neuroanatomy of Target Detection: An fMRI Study of Visual and Auditory Oddball Tasks. *Cerebral Cortex*, 9, 815-823.
- Ludewig, S., Geyer, M. A., Ramseier, M., Vollenweider, F. X., Rechsteiner, E., Cattapan-Ludewig, K. (2005). Information-processing deficits and cognitive dysfunction in panic disorder. *J Psychiatry Neurisci*, 30 (1), 37-43.
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., Carter, C. S. (2000). Dissociating the Role of the Dorsolateral Prefrontal and Anterior Cingulate Cortex in Cognitive Control. *Science*, 288, 1835-1838.

- MacLeod, C. M. (1991). Half a Century of Research on the Stroop Effect: An Integrative Review. *Psychological Bulletin*, 109 (2), 163-203.
- Martuzzi, R., Murray, M. M., Maeder, P. P., Fornari, E., Thiran, J.-P., Michel, C. M., Meuli, R. A. (2006). Visuo-motor pathways in humans revealed by event-related fMRI. *Exp Brain Res*, 170, 472-487.
- Matthews, A., Yiend, J., Lawrence, A. D. (2004). Individual Differences in the Modulation of Fear-Related Brain Activation by Attentional Control. *Journal of Cognitive Neuroscience* 16 (10), 1683-1694.
- Matthews, P. M. (2001). An introduction to functional magnetic resonance imaging of the brain. In: Jezzard, P., Matthews, P. M., Smith, S. M. (eds) *Functional MRI, an introduction to methods*. Oxford University Press, pp 3-34.
- McCarthy, G., Luby, M., Gore, J., Goldman-Rakic, P. (1997). Infrequent events transiently activate human prefrontal and parietal cortex as measured by functional MRI. *Journal of Neurophysiology*, 77 (3), 1630-4.
- Melcher, T., Gruber, O. (2005). Dissociating neural correlates of different kinds of cognitive conflict. Poster presented at the 11th Annual Meeting of the "Organization for Human Brain Mapping" (HBM 2005).
- Melcher, T., Gruber, O. (2006). Decomposing interference during Stroop performance into different conflict factors: an event-related fMRI study. Under review.
- Melcher, T., Gruber, O. (in press). Oddball and incongruity effects during Stroop task performance: A comparative fMRI study on selective attention. *Brain research*.
- Menon, V., Ford, J. M., Lim, K. O., Glover, G. H., Pfefferbaum, A. (1997). Combined event-related fMRI and EEG evidence for temporal-parietal cortex activation during target detection. *Neuroreport*, 8 (14), 3029-3037.
- Milham, M. P., Banich, M. T. (2005). Anterior Cingulate Cortex: An fMRI Analysis of Conflict Specificity and Functional Differentiation. *Human Brain Mapping* 25, 328-335.
- Milham, M. P., Banich, M. T., Claus, E. D., Cohen, N. J. (2003). Practice-related effects demonstrate complementary roles of anterior cingulate and prefrontal cortices in attentional control. *Neuroimage*, 18, 483-493.
- Milham, M. P., Banich, M. T., Webb, A., Barad, V., Cohen, N. J., Wszalek, T., Kramer, A. F. (2001). The relative involvement of anterior cingulate and prefrontal cortex in attentional control depends on nature of conflict. *Cognitive Brain Research*, 12, 467-473.
- Mohanty, A., Herrington, J. D., Koven, N. S., Fisher, J. E., Wenzel, E. A., Webb, A. G., Heller, W., Banich, M. T., Miller, G. A. (2005). Neural Mechanisms of Affective Interference in Schizotypy. *Journal of Abnormal Psychology*, 114 (1), 16-27.
- Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Eslinger, P. J., Bramati, I. E., Mourão-Miranda, J., Andreiuolo, P. A., Pessoa, L. (2002). The neural correlates of moral sensitivity: a functional

magnetic resonance imaging investigation of basic and moral emotions. *The Journal of Neuroscience*, 22 (7), 2730-2736.

Morris, J. S., Öhman, A., Dolan, R. J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear. *Neurobiology*, 96, 1680-1685.

Mourão-Miranda, J., Volchan, E., Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Oliveira, L., Bramati, I., Gattass, R., Pessoa, L. (2003). Contributions of stimulus valence and arousal to visual activation during emotional perception. *Neuroimage*, 20, 1955-1963.

Mulert, C., Jäger, L., Schmitt, R., Bussfeld, P., Pogarell, O., Möller, H.-J., Juckel, G., Hegerl, U. (2004). Integration of fMRI and simultaneous EEG: towards a comprehensive understanding of localization and time-course of brain activity in target detection. *Neuroimage*, 22, 83-94.

Northoff, G., Heinzel, A., Bermpohl, F., Niese, R., Pfennig, A., Pascual-Leone, A., Schlaug, G. (2004). Reciprocal Modulation and Attenuation in the Prefrontal Cortex: An fMRI Study on Emotional-Cognitive Interaction. *Human Brain Mapping*, 21, 202-212.

Northoff, G., Richter, A., Gessner, M., Schlagenhaut, F., Fell, J., Baumgart, F., Kaulisch, T., Kötter, R., Stephan, K. E., Leschinger, A., Hagner, T., Bargel, B., Witzel, T., Hinrichs, H., Bogerts, B., Schleich, H., Heinze, H.-J. (2000). Functional Dissociation between Medial and Lateral Prefrontal Cortical Spatiotemporal Activation in Negative and Positive Emotions: A Combined fMRI/MEG Study. *Cerebral Cortex*, 10, 93-107.

Öhman, A. (2002). Automaticity and the Amygdala : Nonconscious Responses to Emotional Faces. *Current Directions in Psychological Science*, 11 (2), 62-66.

Paradiso, S., Johnson, D. L., Andreasen, N. C., O’Leary, D. S., Watkins, G. L., Boles Ponto, L. L., Hichwa, R. D. (1999). Cerebral Blood Flow Changes Associated With Attribution of Emotional Valence to Pleasant, Unpleasant, and Neutral Visual Stimuli in a PET Study of Normal Subjects. *American Journal of Psychiatry*, 156 (10), 1618-1629.

Pardo, J. V., Pardo, P. J., Janer, K. W., Raichle, M. E. (1990). The anterior cingulate cortex mediates processing selection in the Stroop attentional conflict paradigm. *Neurobiology*, 87, 256-259.

Pessoa, L. (2005). To what extend are emotional visual stimuli processed without attention and awareness? *Current Opinion in Neurobiology*, 15, 188-196.

Pessoa, L., Ungerleider, L. G. (2004). Neuroimaging studies of attention and the processing of emotion-laden stimuli. *Progress in Brain Research*, 144, 171-182.

Peterson, B. S., Skudlarski, P., Gatenby, C., Zhang, H., Anderson, A. W., Gore, J. C. (1999). An fMRI Study of Stroop Word-Color Interference: Evidence for Cingulate Subregions Subservicing Multiple Distributed Attentional Systems. *Biol Psychiatry*, 45, 1237-1258.

Phan, K. L., Wager, T. D., Taylor, S. F., Liberzon, I. (2004). Functional Neuroimaging Studies of Human Emotions. *CNS Spectrums*, 9 (4), 258-266.

- Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., Liberzon, I. (2002). Functional Neuroanatomy of Emotion: A Meta-Analysis of Emotion Activation Studies in PET and fMRI. *Neuroimage* 16, 331-348.
- Picard, N., Strick, P. L. (1996). Motor areas of the medial wall: A review of their location and functional activation. *Cerebral Cortex*, 6, 342-353.
- Poeck, K. & Hacke, W. (2001). *Neurologie*. 11. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Pratto, F., John, O. P. (1991). Automatic Vigilance: The Attention-Grabbing Power of Negative Social Information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61 (3), 380-391.
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., Schulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *PNAS*, 98 (2), 676-682.
- Ridderinkhof, K. R., van den Wildenberg, W. P. M., Segalowitz, S. J., Carter, C. S. (2004a). Neurocognitive mechanisms of cognitive control: The role of prefrontal cortex in action selection, response inhibition, performance monitoring, and reward-based learning. *Brain and Cognition*, 56, 129-140.
- Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., Nieuwenhuis, S. (2004b). The Role of the Medial Frontal Cortex in Cognitive Control. *Science*, 306, 443-447.
- Rizzolatti, G., Craighero, L. (2004). The Mirror-Neuron System. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 169-92.
- Rose, E. J., Simonotto, E., Ebmeier, K. P. (2006). Limbic over-activity in depression during preserved performance on the n-back task. *Neuroimage*, 29, 203-215.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39, 1161-1178.
- Sander, D., Grandjean, D., Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M. L., Scherer, K. R., Vuilleumier, P. (2005). Emotion and attention interactions in social cognition: Brain regions involved in processing anger prosody. *Neuroimage*, 28, 848-858.
- Schiebler, T. H., Schmidt, W. (2003). *Anatomie*. 8. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Schienle, A., Stark, R., Walter, B., Blecker, C., Ott, U., Kirsch, P., Sammer, G., Vaitl, D. (2002). The insula is not specifically involved in disgust processing: an fMRI study. *Neuroreport*, 13 (16), 2023-2026.
- Schimmack, U. (2005). Attentional Interference Effects of Emotional Pictures: Threat, Negativity, or Arousal? *Emotion*, 5 (1), 55-66.
- Schneider, F., Habel, U., Bestmann, S. (2005). Affektive Störungen. In: Förstl, H. (ed) *Frontalhirn. Funktionen und Erkrankungen*. Springer, Heidelberg, pp 233-266.

- Schubotz, R. I., von Cramon, D. Y. (2003). Functional-anatomical concepts of human premotor cortex: evidence from fMRI and PET studies. *Neuroimage*, 20, S120-S131.
- Schubotz, R. I., von Cramon, D. Y., Lohmann, G. (2003). Auditory what, where, and when: a sensory somatotopy in lateral premotor cortex. *Neuroimage*, 20, 173-185.
- Schulman, G. L., Fiez, J. A., Corbetta, M., Buckner, R. L., Miezin, F. M., Raichle, M. E., Peterson, S. E. (1997). Common Blood Flow Changes across Visual Tasks: II. Decreases in Cerebral Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9 (5), 648-663.
- Schupp, H. T., Cuthbert, B. N., Bradley, M. M., Hillman, C. H., Hamm, A. O., Lang, P. J. (2004). Brain processes in emotional perception: Motivated attention. *Cognition and Emotion*, 18 (5), 593-611.
- Simpson, J. R., Drevets, W. C., Snyder, A. Z., Gusnard, D. A., Raichle, M. E. (2001b). Emotion-induced changes in human medial prefrontal cortex: II. During anticipatory anxiety. *PNAS*, 98 (2), 688-693.
- Simpson, J. R., Öngür, D., Akbudak, E., Conturo, T. E., Ollinger, J. M., Snyder, A. Z., Gusnard, D. A., Raichle, M. E. (2000). The Emotional Modulation of Cognitive Processing: An fMRI Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (2), 157-170.
- Simpson, J. R., Snyder, A. Z., Gusnard, D. A., Raichle, M. E. (2001a). Emotion-induced changes in human medial prefrontal cortex: I. During cognitive task performance. *PNAS*, 98 (2), 683-687.
- Small, D. M., Gregory, M. D., Mak, Y. E., Gitelman, D., Mesulam, M. M., Parrish, T. (2003). Dissociation of Neural Representation of Intensity and Affective Valuation in Human Gustation. *Neuron*, 39, 701-711.
- Smith Erthal, F., De Oliveira, L., Mocaiber, I., Pereira, M. G., Machado-Pinheiro, W., Volchan, E., Pessoa, L. (2005). Load-dependent modulation of affective picture processing. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 5 (4), 388-395.
- Stark, R., Schienle, A., Walter, B., Kirsch, P., Sammer, G., Ott, U., Blecker, C., Vaitl, D. (2003). Hemodynamic responses to fear and disgust-inducing pictures: an fMRI study. *International Journal of Psychophysiology*, 50, 225-234.
- Stevens, M. C., Calhoun, V. D., Kiehl, K. A. (2005). Hemispheric differences in hemodynamics elicited by auditory oddball stimuli. *Neuroimage*, 26, 782-792.
- Strange, B. A., Duggins, A., Penny, W., Dolan, R. J., Friston, K. J. (2005). Information theory, novelty and hippocampal responses: unpredicted or unpredictable? *Neural Networks* 18, 225-230.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18 (6), 643- 662.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., John, E. R. (1965). Evoked-Potential Correlates of Stimulus Uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.

- Tagamets, M.-A., Novick, J. M., Chalmers, M. L., Friedman, R. B. (2000). A Parametric Approach to Orthographic Processing in the Brain: An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (2), 281-297.
- Tipples, J., Sharma, D. (2000). Orienting to exogenous cues and attentional bias to affective pictures reflect separate processes. *British Journal of Psychology*, 91, 87-97.
- Trepel, M. (2004). *Neuroanatomie. Struktur und Funktion*. 3. Auflage. Urban & Fischer, München Jena.
- Ullsperger, M., von Cramon, D. Y. (2001). Subprocesses of Performance Monitoring: A Dissociation of Error Processing and Response Competition Revealed by Event-Related fMRI and ERPs. *Neuroimage*, 14, 1387-1401.
- Ullsperger, M., von Cramon, D. Y. (2004). Decision making, performance and outcome in frontal cortical areas. *Nature Neuroscience*, 7 (11), 1173-1174.
- Ullsperger, M., von Cramon, D. Y. (2006). The Role of Intact Frontostriatal Circuits in Error Processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18 (4), 651-664.
- Ungerleider, L. G., Courtney, S. M., Haxby, J. V. (1998). A neural system for human visual working memory. *PNAS*, 95, 883-890.
- Ungerleider, L. G., Haxby, J. V. (1994). „What“ and „where“ in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 4, 157-165.
- Van Veen, V., Carter, C. S. (2005). Separating semantic conflict and response conflict in the Stroop task: A functional MRI study. *Neuroimage*, 27, 497-504.
- Vandenberghe, R., Geeraerts, S., Molenberghs, P., Lafosse, C., Vandebulcke, M., Peeters, K., Peeters, R., Van Hecke, P., Orban, G. A. (2005). Attentional responses to unattended stimuli in human parietal cortex. *Brain*, 128, 2843-2857.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., Dolan, R. J. (2001). Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: an event-related fMRI study. *Neuron*, 30, 829-841.
- Wager, T. D., Jonides, J., Smith, E. E., Nichols, T. E. (2005). Toward a taxonomy of attention shifting: individual differences in fMRI during multiple shift types. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 5 (2), 127-143.
- Wang, L., McCarthy, G., Song, A. W., LaBar, K. S. (2005). Amygdala Activation to Sad Pictures During High-Field (4 Tesla) Functional Magnetic Resonance Imaging. *Emotion*, 5 (1), 12-22.
- Weiss, A. P., Zalesak, M., DeWitt, I., Goff, D., Kunkel, L., Heckers, S. (2004). Impaired Hippocampal Function During the Detection of Novel Words in Schizophrenia. *Biol Psychiatry*, 55, 668-675.

Weissman, D. H., Gopalakrishnan, A., Hazlett, C. J., Woldorff, M. G. (2005). Dorsal Anterior Cingulate Cortex Resolves Conflict from Distracting Stimuli by Boosting Attention toward Relevant Events. *Cerebral Cortex*, 15, 229-237.

Wiedemann, G. (2005). Angsterkrankungen. In: Förstl, H. (ed) *Frontalhirn. Funktionen und Erkrankungen*. Springer, Heidelberg, pp 267-292.

Yamasaki, H., LaBar, K. S., McCarthy, G. (2002). Dissociable prefrontal brain systems for attention and emotion. *PNAS*, 99 (17), 11447-11451.

Zimbardo, P. G., Gerring, R. J. (1999). *Psychologie*. Springer, Berlin Heidelberg New York.

Zysset, S., Müller, K., Lohmann, G., von Cramon, D. Y. (2001). Color-Word Matching Stroop Task: Separating Interference and Response Conflict. *NeuroImage*, 13, 29-36.



## 7 Abkürzungsverzeichnis

(A)IN>BA	Aktivierungen während der Darbietung inkongruenter Trials (im Vgl. zur Baseline), wenn ein negativ-erregender Stimulus vorausging
(A)KO>BA	Aktivierungen während der Darbietung kongruenter Trials (im Vgl. zur Baseline), wenn ein negativ-erregender Stimulus vorausging
(A)OD>BA	Aktivierungen während der Darbietung von Oddball-Trials (im Vgl. zur Baseline), wenn ein negativ-erregender Stimulus vorausging
(int)A<N_IN>BA	Aktivierungen während der Darbietung inkongruenter Trials (im Vgl. zur Baseline), die nach negativ-erregenden IAPS-Bildern schwächer waren als nach neutralen
(int)A<N_KO>BA	Aktivierungen während der Darbietung kongruenter Trials (im Vgl. zur Baseline), die nach negativ-erregenden IAPS-Bildern schwächer waren als nach neutralen
(int)A>N_IN>BA	Aktivierungen während der Darbietung inkongruenter Trials (im Vgl. zur Baseline), die nach negativ-erregenden IAPS-Bildern stärker waren als nach neutralen
(int)A>N_KO>BA	Aktivierungen während der Darbietung kongruenter Trials (im Vgl. zur Baseline), die nach negativ-erregenden IAPS-Bildern stärker waren als nach neutralen
(N)IN>BA	Aktivierungen während der Darbietung inkongruenter Trials (im Vgl. zur Baseline), wenn ein neutraler Stimulus vorausging
(N)KO>BA	Aktivierungen während der Darbietung kongruenter Trials (im Vgl. zur Baseline), wenn ein neutraler Stimulus vorausging
(N)OD>BA	Aktivierungen während der Darbietung von Oddball-Trials (im Vgl. zur Baseline), wenn ein neutraler Stimulus vorausging
ACC	Anteriorer cingulärer Kortex
BA	Baseline-Bedingung
cCZ	Caudale cinguläre Zone
DLPFC	dorsolateraler präfrontaler Kortex
EEG	Elektroenzephalographie
EPI	Echo-Planar-Imaging
ERP	event-related potentials (ereigniskorrelierte Potenziale)
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
IAPS	International Affective Picture System
IAPS_A>N	Aktivierungen während der Präsentation negativ-erregender IAPS-Bilder im Vgl. zu neutralen IAPS-Bildern
IFJ	Inferior Frontal Junction
IN	Inkongruenz-Bedingung
IPS	Intraparieter Sulcus
KO	Kongruenz-Bedingung
MNI	Montreal Neurological Institute
OD	Oddball-Bedingung
OFC	Orbitofrontaler Kortex
PCC	Posteriorer cingulärer Kortex
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
pre-SMA	Prä- supplementär motorisches Areal
rCZ	Rostrale cinguläre Zone

---

rCZp	Ronstrale cinguläre Zone (posteriorer Anteil)
SMA	supplementär motorisches Areal
TE	Echozeit
TPJ	temporoparietal junction
TR	Repetitionszeit

## 8 Anhang

### 8.1 Verwendete IAPS-Bilder

"Negative Arousal"				"Neutral"			
	IAPS	valmn	aromn		IAPS	valmn	aromn
Snake	1050	3,46	6,87	Adult	2000	6,51	3,32
Snake	1052	3,5	6,52	Adult	2010	6,25	3,32
Snake	1120	3,79	6,93	Adult	2020	5,68	3,34
PitBull	1300	3,55	6,79	Man	2190	4,83	2,41
Shark	1932	3,85	6,47	Farmer	2191	5,3	3,61
Toddler	2095	1,79	5,25	NeutFace	2210	4,38	3,56
Bum	2750	2,56	4,31	NeutMan	2214	5,01	3,46
SadChild	2800	1,78	5,49	NeutMan	2215	4,63	3,38
CryingBoy	2900	2,45	5,09	Judge	2221	4,39	3,07
Mutilation	3000	1,45	7,26	Butcher	2235	5,64	3,36
Mutilation	3010	1,71	7,16	NeutChild	2240	6,53	3,75
Accident	3015	1,52	5,9	NeutChild	2270	6,28	3,15
Scream	3022	3,7	5,88	Family	2299	7,27	3,95
Mutilation	3030	1,91	6,76	Girl	2304	7,22	3,63
Mutilation	3051	2,3	5,62	Girl	2320	6,17	2,9
BurnVictim	3053	1,31	6,91	Man	2357	5,41	3,33
Mutilation	3060	1,79	7,12	Family	2360	7,7	3,66
Mutilation	3061	2,32	5,28	ThreeMen	2370	7,14	2,9
Mutilation	3062	1,87	5,78	Girl	2381	5,25	3,04
Mutilation	3063	1,49	6,35	Secretary	2383	4,72	3,41
Mutilation	3064	1,45	6,41	Girl	2385	5,2	3,64
Mutilation	3068	1,8	6,77	Kids	2387	7,12	3,97
Mutilation	3069	1,7	7,03	Kids	2388	7,44	3,77
Mutilation	3071	1,88	6,86	Medicalworker	2394	5,76	3,89
Mutilation	3080	1,48	7,22	Mom/Son	2435	5,84	3,94
BurnVictim	3100	1,6	6,49	Man	2485	5,69	3,74
BurntFace	3101	1,91	5,6	NeutralMale	2493	4,82	3,34
BurnVictim	3102	1,4	6,58	Man	2495	5,22	3,19
BurnVictim	3110	1,79	6,7	NeutralMale	2499	5,34	3,08
DeadBody	3120	1,56	6,84	Man	2500	6,16	3,61
Mutilation	3130	1,58	6,97	Couple	2501	6,89	3,09
DeadBody	3140	1,83	6,36	Woman	2514	5,19	3,5
Mutilation	3150	2,26	6,55	ElderlyWoman	2516	4,9	3,5
EyeDisease	3160	2,63	5,35	Quilting	2518	5,67	3,31
Mutilation	3168	1,56	6	Couple	2530	7,8	3,99
BabyTumor	3170	1,46	7,21	Mother	2540	7,63	3,97
BatteredFem	3181	2,3	5,06	Chess	2580	5,71	2,79
Hospital	3220	2,49	5,52	Woman	2620	5,93	2,72
DyingMan	3230	2,02	5,41	Male	2630	6,35	3,92
Tumor	3261	1,82	5,75	Smoking	2749	5,04	3,76
Injury	3266	1,56	6,79	Balloons	2791	6,64	3,83
InjuredChild	3301	1,8	5,21	Teenager	2870	5,31	3,01
SeveredHand	3400	2,35	6,91	FoodBasket	2980	5,61	3,09

Attack	3530	1,8	6,82	Violinist	5410	6,11	3,29
Injury	3550	2,54	5,92	Truck	7130	4,77	3,35
Aimedgun	6190	3,57	5,64	NeonBuilding	7180	4,73	3,43
AimedGun	6200	2,71	6,21	Watermelon	7325	7,06	3,55
AimedGun	6250	2,83	6,54	Man	7493	5,35	3,39
AimedGun	6260	2,44	6,93	Office	7550	5,27	3,95
Attack	6370	2,7	6,44	Golfer	8311	5,88	3,57
Attack	6510	2,46	6,96	Runner	8465	5,96	3,93
Attack	6550	2,73	7,09	Boy	9070	5,01	3,63
Suicide	6570	2,19	6,24	Rain	9210	4,53	3,08
Boxer	8230	2,95	5,91	Trash	9700	4,77	3,21
BikerOnFire	8480	3,7	6,28	Shopping	2745,1	5,31	3,26
StarvingChild	9040	1,67	5,82	Woman	2037	6,42	3,35
StickThruLip	9042	3,15	5,78	NeuWoman	2038	5,09	2,94
Cow	9140	2,19	5,38	NeuMan	2102	5,16	3,03
WarVictim	9250	2,57	6,6	Woman	2305	5,41	3,63
Mutilation	9253	2	5,53	Family	2358	6,56	3,73
SlicedHand	9405	1,83	6,08	Men	2397	4,98	2,77
Soldier	9410	1,51	7,07	Feet	2445	5,39	3,83
Soldier	9420	2,31	5,69	Woman	2506	5,67	3,5
Dog	9570	1,68	6,14	Man	2512	4,86	3,46
Cat	9571	1,96	5,64	Woman	2513	5,8	3,29
Jet	9622	3,1	6,26	Gannet	1450	6,37	2,83
Fire	9921	2,04	6,52	Butterfly	1602	6,5	3,43
OpenGrave	3005,1	1,63	6,2	Butterfly	1603	6,9	3,37
ManOnFire	9635,1	1,9	6,54	Butterfly	1604	7,11	3,3
SadChildren	2703	1,91	5,78	Rabbit	1610	7,82	3,08
Gun	2811	2,17	6,9	Sprgbok	1620	7,37	3,54
Mutilation	3017	2,45	5,34	Cow	1670	6,81	3,05
Mutilation	3225	1,82	5,95	Fish	1900	6,65	3,46
Assault	6022	2,14	6,09	Harvest	2515	6,09	3,8
Assault	9254	2,03	6,04	Bakers	2579	5,53	3,85
Assault	9429	2,68	5,63	Tourist	2850	5,22	3
CarAccident	9900	2,46	5,58	Men	2593	5,8	3,42
CarAccident	9902	2,33	6	City	2594	6,05	3,84

Weitere: 5200, 5750, 5891, 5000, 5010, 5390, 5800, 7004, 7009, 7038, 7052, 7090, 7233, 7490, 7491, 2880, 1812, 1419  
(Lang et al. 2005)

## 8.2 Instruktionsblatt

### **Motorische Reaktionen auf Farben und Bildwahrnehmung**

Auf dem Bildschirm werden wiederholt eine **Fotographie** und anschließend ein **Wort** präsentiert; das **Wort** erscheint entweder in **GELB** oder in **BLAU**.

**Aufgabe: Beurteilung der Schriftfarbe des Wortes per Tastendruck** (rechter oder linker Zeigefinger)

- **BLAUE** Farbe → **linke** Taste
- **GELBE** Farbe → **rechte** Taste

Konkret:      **XXXX** → links  
                 **XXXX** → rechts

- Tastendruck soll **so schnell wie möglich** auf das Erscheinen des Wortes erfolgen
- Es werden Farbworte und andere Worte präsentiert. Die Bedeutung des Wortes spielt in jedem Fall keine Rolle und soll ignoriert werden!!!

***Fotographien:***

- *Die Fotographien haben für die Lösung der Aufgabe keine Bedeutung.*
- *Trotzdem sollen sie beachtet werden, da diese Studie auch den Einfluss der Bildwahrnehmung untersuchen will.*

**Wichtig:**

- Antworten so schnell wie möglich
- Dabei jedoch falsche Antworten unbedingt vermeiden
- Finger während der gesamten Aufgabe auf den beiden Antworttasten liegen lassen

Hinweis: Es gibt 2 Pausen.

**Noch Fragen? Bitte JETZT an den Experimentalleiter wenden!**

**Vielen Dank für die Teilnahme!**

## 9 Veröffentlichung der Studienergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung wurden auf einem nationalen (DGPPN-Kongress in Berlin, November 2006) und einem internationalen Kongress (Meeting of the German Neuroscience Society in Göttingen, März 2007) als Poster präsentiert und werden im Laufe des Jahres 2007 auf einem weiteren internationalen Kongress (Human Brain Mapping in Chicago, Juni 2007) präsentiert.

Die Ergebnisse wurden ferner als Abstracts in folgenden Fachzeitschriften publiziert:

1. Born, C., Melcher, T., Gruber, O. (2006). Zum Einfluss negativer Affektzustände auf neuronale Mechanismen kognitiver Kontrolle: eine fMRT-Studie. *Nervenarzt*, 77 (Suppl. 3), 347.
2. Melcher, T., Born, C., Gruber, O. (2007). On the influence of negative affect on the neural mechanisms of cognitive control: an event-related fMRI study. *Neuroimage*, in press.

## 10 Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Oliver Gruber, Leiter der Arbeitseinheit „Kognitive Neurowissenschaften in der Psychiatrie“, für die Ermöglichung dieser Arbeit im Rahmen des aktuellen Forschungsprogramms. Seine Ideen, Ermunterungen sowie sein reges Interesse haben stets meine Motivation an der vorliegenden Arbeit unterstützt.

Herrn Tobias Melcher, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitseinheit, danke ich vielmals für seine richtungsweisenden Anregungen und seine Unterstützung in theoretischen wie in praktischen Fragen. Seiner zielführenden Mitarbeit und seinem steten Einsatz ist die Verwirklichung des Projekts in dieser Form zu verdanken.

Darüber hinaus möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken: Frau Miriam Schnur für ihre rege Unterstützung bei der Erhebung der Kernspindaten, Herrn Dr. Florian Königstein für die Entwicklung des Tools zur Berechnung der Bildkomplexität und Frau Ilona Henseler sowie Frau Esther Schlüther, die als Mitarbeiterinnen der Arbeitseinheit mir mit ihrem Rat stets zur Seite standen. Außerdem danke ich Herrn Christoph Krick für seine technische Unterstützung beim Aufbau der Messanlage.

Schließlich danke ich allen Probanden, die trotz teils widriger Umstände mit ihrer Teilnahme am Experiment wesentlich zur Verwirklichung dieses Projekts beitrugen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Maria Born und Jochen Born, da sie mir die Möglichkeit und den notwendigen Rückhalt für das Medizinstudium geben.

## 11 Lebenslauf

Eva Christina Born

18.04.81	Geburt als einziges Kind von Maria Born und Jochen Born in Filderstadt
1987-1991	Besuch der Grundschule am Stiefel in Rentrisch
1991-2000	Besuch des Albertus-Magnus-Gymnasiums in St. Ingbert, Abitur 2000
2000-2002	Studium der Psychologie an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken, Vordiplom Herbst 2002
2002	Aufnahme des Medizin-Studiums in Homburg / Saar
2004	Ärztliche Vorprüfung
2004-2005	Studium der Medizin an der Universität in Lausanne (ECTS)
Seit 2005	Klinisches Medizinstudium in Homburg / Saar